

Multi-D
engineering

РОССИЯ

RUSSIA
Atomic Project

Атомный проект



ОРГЭNERГОСТРОЙ



СЛЕДЯЩИЕ ТЕСТ-СИСТЕМЫ

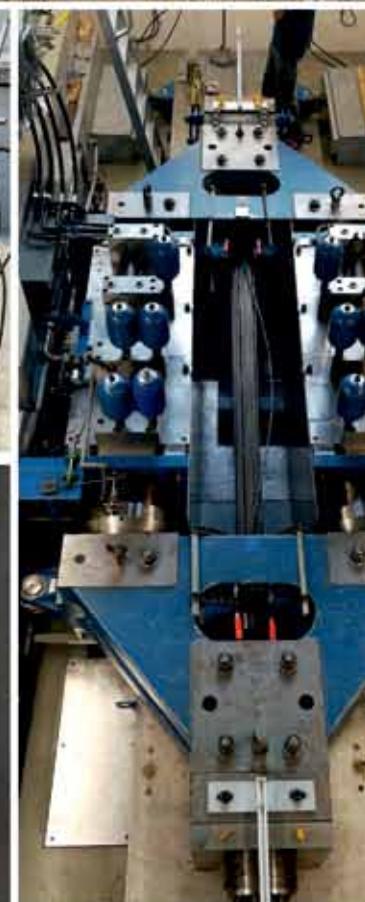
#27
2017



СЛЕДЯЩИЕ ТЕСТ-СИСТЕМЫ

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

Импортозамещение СПЗ0



На Нововоронежской АЭС-2 – первой в мире инновационной атомной электростанции поколения «3+» компания ООО «СТС» выполнила поставку и монтаж элементов системы преднапряжения защитной оболочки энергоблоков № 1 и № 2.

Атомный проект

ВЫПУСК ДВАДЦАТЬ СЕДЬМОЙ

Будет представлен участникам:

- IX Международного форума поставщиков атомной отрасли «АТОМЕКС 2017» (14-16 ноября, Москва, РФ)
- Международной промышленной выставки EXPO-RUSSIA 2017 (13-15 декабря, Вьетнам, Ханой)

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

Atomic Project

ISSUE TWENTY-SEVENTH

Международная
промышленная
выставка

EXPO-RUSSIA VIETNAM 2017

13-15 декабря
Вьетнам, Ханой

www.zarubezhexpo.ru



ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

ЭНЕРГЕТИКА
МАШИНОСТРОЕНИЕ
ТРАНСПОРТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И СВЯЗИ
ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
ХИМИЧЕСКАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
МЕДИЦИНА
СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО
ОБРАЗОВАНИЕ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ
И ИННОВАЦИОННЫЕ ОТРАСЛИ



Организаторы: ОАО «Зарубеж-Экспо»

При поддержке:

Министерства иностранных дел РФ
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации
Министерства экономического развития РФ
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации
Торгово-промышленной палаты Социалистической Республики Вьетнам
Посольства Российской Федерации в Социалистической Республике Вьетнам
Торгпредства России во Вьетнаме
Российско-Вьетнамского делового совета
Посольства Социалистической Республики Вьетнам в РФ
отраслевых министерств Российской Федерации
отраслевых министерств и ведомств Социалистической Республики Вьетнам

Цель выставки:

развитие экономического, научно-технического, культурного, политического сотрудничества между Российской Федерацией и СРВ, укрепление связей между странами, развитие совместного бизнеса, торгово-экономических и инвестиционных отношений.

Под патронатом

Торгово-промышленной палаты
Российской Федерации и
Московской
торгово-промышленной палаты

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

Kelvion



КЕЛЬВИОН – ЭКСПЕРТЫ В ТЕПЛООБМЕНЕ

С 2007 года специалисты Кельвион разрабатывают решения теплообмена, отвечающие стандартам атомной отрасли. Компания обладает подтвержденным опытом поставок классового оборудования.

Кельвион производит и поставляет:

- Разборные пластинчатые теплообменники
- Сварные пластинчатые теплообменники
- Испарительные и сухие градирни
- Водяные фильтры с автоматической промывкой
- Охладители трансформаторов

Решения теплообмена Кельвион – это высокая надежность, эффективность и экономичность.

Кельвион Машинпэкс
Тел: +7 (495) 234 95 03
Факс: +7 (495) 234-95-04
moscow@kelvion.com

www.kelvion.ru



АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

Информационно-аналитический журнал для специалистов в области атомного машиностроения

№ 27, ноябрь, 2017 г.

Учредитель-издатель

ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

Генеральный директор

Г. П. Митькина

Сайт в Интернете

www.kuriermedia.ru

Журнал создан**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

Трафик-менеджер

Л.И. Будилина

8-951-902-27-31

Допечатная подготовка

ООО «РИЦ «Курьер-медиа»

Адрес издателя и редакции

603006, Нижний Новгород, ул. Академика Блохиной, д. 4/43

Телефон

(831) 461-90-16

Факс

(831) 461-90-17

E-mail: ra@kuriermedia.ru,

direktor@kuriermedia.ru

Тираж выпуска

1500 экз.

на бумажном и CD-носителях

Дата выхода в свет

09.11.2017 г.

Типография

ООО «Срочная печать»

Нижний Новгород,

ул. Новая, 36

Распространяется бесплатно почтовой рассылкой

В свободной продаже отсутствует

Перепечатка, копирование материалов, опубликованных в журнале, без согласования с редакцией не допускается.

Ответственность за достоверность рекламных материалов несут рекламодатели

СОБЫТИЕ

«Россия была единственной страной, проявившей готовность к сотрудничеству» **6**

Мощнейший флот в мире **8**

Отраслевой вуз Росатома отметил вековой юбилей **12**

МОДЕРНИЗАЦИЯ АЭС

НВАЭС: всё впервые **14**

Система преднапряжения защитной оболочки (СПЗО).
Инновации. Стандартизация. Гармонизация **16**

Оргэнергострой: путь инноваций **18**

Е.В. Зайцев. Анализ материалов детектора прямого заряда **20**

Российские АЭС оснащаются оборудованием «ЭКРА» **20**

Лакокрасочные материалы Холдинга ВМП для антикоррозионной защиты
и декоративной отделки конструкций объектов атомной энергетики **21**

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

А.В. Жарков. Расчёт несущих конструкций ядерных реакторов
в конечно-элементной системе Marc **22**

Н.А. Чернуха. Вероятность падения самолета на АЭС
при наличии преимущественного азимута подлета **24**

Е.Л. Матвеев, А.Л. Матвеев, Д.Ю. Цапцын, Б.С. Андреев. Верификация и аттестация
программных средств систем контроля течи энергоблоков АЭС с РУ РБМК 1000 **26**

Испытания российских машин серии BLOK на платформе Intel 7-го поколения
успешно завершены **27**

Е.В. Шабельников, В.Ю. Лукьяненко, К.Н. Кощев, И.Л. Бельтюков, А.В. Козлов.
Методика получения экспериментальных данных низкотемпературного выхода
ГПД из перспективных видов ядерного топлива в обоснование модельного
представления «холодного» выхода **28**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Н.И. Савин. Разработка программного обеспечения стенда
проверки модулей связи с процессом КСА ТПТС-НТ **30**

И.С. Образцов, М.М. Соколов. АСУ системы вакуумной откачки токамака Т-15МД **32**

А.В. Крутских, Д.А. Денисов. Проблемы ввода в эксплуатацию АСУ ТП
энергоблока №6 НВАЭС **34**

16+

Фото на обложке: АЭС «Бушер-1», Иран

В.Д. Исаев, С.В. Евсеев. Особенности построения программного обеспечения системы автоматического управления оптической диагностики **36**

Д.В. Соколов. Разработка системы управления выпарным аппаратом, предназначенным для технологии экстракционно-кристаллизационной переработки ОЯТ **39**

Е.А. Рыбкин, В.А. Юдин. Магнитно-импульсное упрочнение резцов **40**

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Д.В. Заворотнов, А.В. Демидова, М.Е. Коротеев. Исследование деградации кварцевых генераторов при воздействии радиационных факторов космического пространства **41**

Д.А. Сидоренко. Разработка генератора, управляемого напряжением, с пониженным уровнем фазового шума на КМОП КНИ технологии **42**

А.В. Гусев, И.С. Бульбаков, М.В. Старилов. Быстродействующий интегральный стабилизатор с малым падением напряжения **44**

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Е.А. Богомолова, А.В. Дерябкин, А.К. Смирнова. Исследование технологии изготовления ЗС из CVD алмаза для ЛБВ W-диапазона **46**

Д.А. Недорезов. Многофункциональный аппаратно-программный осциллографический комплекс для длительного контроля и испытаний **48**

Н.Д. Шипуля. Разработка высокоточного микрофлюидного датчика дифференциального давления для широкого спектра предназначения **49**

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Т.Н. Офицерова, Е.И. Борисова, О.Н. Занькова. Создание импортонезависимой системы управления производственными процессами в составе системы полного жизненного цикла «Цифровое предприятие» **50**

И.Д. Смирнов. Система электронных заказов на анализ материалов и контроль изменения результатов анализов **52**

ПСР-ПРОЕКТЫ

С.Л. Панышев. Внедрение системы 5С в непроизводственных помещениях подразделений института **53**

Л.В. Бердникова. Стандартизация как инструмент Производственной системы Росатома (ПСР) **54**

М.С. Уваров, А.В. Павлинов, Н.Н. Мазуров. Концепция бережливого производства «Опыт – Идеи – Реализация» **55**

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ **56**

Редакционный совет журнала «Атомный проект»

РУКОВОДИТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

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

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

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

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

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

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

Чернышев А. К. – заместитель научного руководителя РЯЯЦ-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 РЯЯЦ-ВНИИЭФ

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

«Россия была единственной страной, проявившей готовность к сотрудничеству»

31 октября 2017 года в провинции Бушер (Иран) состоялась торжественная церемония начала работ на котловане основных зданий энергоблока №2 АЭС «Бушер» (проект «Бушер-2»).

Иранская АЭС «Бушер» – первая атомная электростанция на Ближнем Востоке, многострадальный и действительно уникальный проект, строившийся на протяжении 37 (!) лет. Еще в 1974 году немецкий концерн Kraftwerk Union AG (Siemens/KWU) начал сооружать эту станцию, но спустя шесть лет немцы присоединились к американским санкциям против Ирана и остановили стройку. И только через полтора десятилетия Иран сумел реанимировать проект. Помогла ему в этом Россия: в 1995 году между Москвой и Тегераном был подписан контракт на завершение строительства первого энергоблока станции. Надо сказать, что российские атомщики совершили беспрецедентную операцию: компании «Атомстройэкспорт» и её подрядчикам удалось осуществить интеграцию российского оборудования в строительную часть, выполненную по немецкому проекту и, кроме того, «разморозить» и применить около 12 тысяч тонн немецкого оборудования. Это было сделано без поддержки производителя. С технической точки зрения никто ничего подобного не делал.

Первый блок АЭС «Бушер» подключили к национальной энергосистеме Ирана в сентябре 2011 года, а 30 августа 2012 года он

был выведен на 100% проектной мощности. Через год был подписан акт предварительной приемки первого энергоблока АЭС «Бушер». Было много политических сил, которые не хотели осуществления этого проекта, но сегодня блок уже успешно работает. В 2015 году этот проект был признан самым успешным в атомной области.

В апреле 2016 года блок был окончательно передан Ирану в эксплуатацию, это стало официальным завершением его строительства. При этом Росатом в рамках своих обязательств продолжает сервисное обслуживание блока и обеспечение его ядерным топливом.

В ноябре 2014 года Россия и Иран подписали дополнительный протокол к существующему межправительственному соглашению на строительство ещё восьми энергоблоков, а также контракт на сооружение двух новых энергоблоков

Глава Организации по атомной энергии Ирана **Али Акбар Салехи**, оценивая итоги сотрудничества между нашими государствами, отмечал, что в Иране всегда будут помнить, кто пришел на помощь стране в трудное для нее время.

«Иран предусматривает особые привилегии для России в сотрудничестве в области мирного атома Россия была единственной страной, которая проявила готовность к такому сотрудничеству. Другие государства, накопившие в этой области богатый опыт, из-за санкций не соглашались на взаимодействие с Ираном. Реализация Совмест-

ного всеобъемлющего плана действий обеспечивает нам широкие возможности технического сотрудничества в области мирного атома, которых мы были лишены последние 12 лет. Нам поступают многочисленные предложения от стран в Юго-Восточной Азии и ЕС. Теперь мы имеем широкий выбор, и это отличная возможность. Но первую атомную электростанцию в Бушере построил никто иной как Россия. И именно Россия согласилась построить там еще два новых энергоблока. Поддержавшим нас в тяжелое время друзьям мы предоставим особые привилегии, даже с учетом того, что многие государства, от которых теперь поступают предложения на строительство новых АЭС, предлагают порой даже лучшие финансовые условия», – заявил Салехи в интервью, данном в 2016 году одной из иранских телекомпаний.

По контракту на вторую очередь АЭС на площадке вблизи уже действующего энергоблока №1 будут сооружены два блока российского проекта ВВЭР-1000 суммарной мощностью 2100 МВт. Российские энергоблоки ВВЭР-1000 – референтный проект поколения «3+», отвечающий самым строгим «постфуксимским» требованиям безопасности.

В сентябре 2016 года был заложен первый камень в строительство, после чего велись подготовительные работы на площадке. С началом обустройства котлована проект «Бушер-2» вступает в стадию практической реализации.





Церемония начала работ на котловане основных зданий энергоблока №2 АЭС «Бушер» состоялась 31 октября 2017 года.

Приветствуя участников церемонии, глава Росатома **Алексей Лихачёв** отметил, что уже накопленный опыт сотрудничества поможет специалистам двух стран эффективно решать любые задачи в рамках проекта «Бушер-2».

«Уверен, что этот крупнейший российско-иранский проект – символ нашего сотрудничества, символ как для нашего поколения, так и для поколения наших детей. Мы создаем объекты, жизненный цикл которых 100 лет. Мы формируем повестку отношений между Россией и Ираном на века, не только для наших внуков, но и для правнуков», – сказал **Алексей Лихачёв**.

В своем ответном слове глава Организации по атомной энергии ИРИ **Али Акбар Салехи** отметил: «Сегодня мы являемся свидетелями начала разработки грунта под сооружение второго энергоблока АЭС «Бушер». Мы идем по графику и даже несколько впереди обозначенного срока. Я надеюсь, что в течение семи лет мы будем свидетелями ввода в эксплуатацию этого блока, а еще через два года будет осуществлен ввод в эксплуатацию 3-го блока АЭС в рамках второй очереди станции».

По словам А.А. Салехи, реализация проекта займет 10 лет, а его стоимость оценивается в 10 миллиардов долларов.

Он отметил важность проекта для экономики Ирана: каждый из новых атомных блоков позволит Ирану сэкономить по 11 миллионов баррелей нефти в год.

Референтной (эталонной) станцией для Бушера-2 будет построенная с участием России первая очередь АЭС «Куданкулам» в Индии.

Генеральный проектировщик АЭС «Бушер-2» — АО «Атомэнергопроект», генеральный подрядчик — АО «Атомстройэкспорт» (ASE).

Строительство второй очереди АЭС «Бушер» ведется за счет средств Ирана.

Фактическое начало строительства второго энергоблока АЭС «Бушер» намечено на третий

квартал 2019 года, сообщил глава группы компаний ASE **Валерий Лимаренко**.

Он отметил также, что на новых блоках АЭС «Бушер» будет применена АСУ ТП российского производства.

Российские и иранские специалисты полностью согласовали сейсмические параметры площадки будущего второго энергоблока, что было одним из условий, необходимых для начала работ по строительству блока.

Глава группы компаний ASE выразил уверенность, что строительство будет полностью обеспечено необходимыми кадрами.

«У российской стороны хватит людского ресурса для кадрового обеспечения строительства АЭС «Бушер-2». Мы будем привлекать и иранских строителей, и строителей из третьих стран там, где это будет экономически целесообразно... Мы заинтересованы

в широком использовании при реализации проекта иранских материалов, привлечении иранских компаний-производителей, которое будет осуществляться на конкурсной основе», – подчеркнул **В.И. Лимаренко**.

Для России иранские контракты — влияние в регионе, высокотехнологичный экспорт, рабочие места и десятки миллиардов долларов прибыли. А для Ирана, который последние десятилетия находился под санкциями, строительство атомных блоков — не только электроэнергия, но и передовые технологии, которые поставляет Россия, и обучение высококвалифицированного персонала.

Работы по физическому пуску второго энергоблока АЭС «Бушер» намечено начать в октябре 2024 года, а такие же работы на третьем энергоблоке по плану стартуют в апреле 2026 года.



Али Акбар Салехи и Алексей Лихачев на церемонии начала основных работ. 31 октября 2017 г.

Мощнейший флот в мире

Выступая в октябре этого года на Международном форуме по энергоэффективности и развитию энергетики «Российская энергетическая неделя», прошедшем в Москве и Санкт-Петербурге, президент РФ Владимир Путин отметил:

– Мы сейчас вводим в строй очередной атомный ледокол – «Сибирь». Он будет колоть лед толщиной три метра. Еще два таких заложено. А потом через несколько лет планируем ввести в строй ледокол, который вообще без ограничения будет любой лед колоть.

Безусловно, глава государства имел в виду новейший атомный ледокол проекта 10510 «Лидер». Мощность «Лидера» беспрецедентна, она в два раза больше мощности любого имеющегося на сегодняшний день атомного ледокола. Со своими стадесятью мегаваттами атомный гигант сможет вспарывать льды практически любой толщины.

Россияне издавна мечтали преодолевать могучие льды Арктики, покорить Северный полюс. Адмирал **Степан Осипович Макаров** еще в 70-х годах XIX века предложил идти к полюсу

«напролом», а для этого – создать большой корабль с сильной паровой машиной, корпус которого был бы сделан из прочного металла, а форма носа позволяла раскалывать лед.

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

Идею Макарова правительство поддержало лишь в 1897 году: выделило средства, устроило конкурс потенциальных изготовителей и 28 декабря подписало контракт с английской компанией «Армстронг-Уитворт», которая обязалась построить ледокол за 10 месяцев. По просьбе сибирских промышленников его

назвали в честь знаменитого первопроходца XVI века Ермака Тимофеевича.

17 октября 1898 года над ледоколом «Ермак» подняли российский флаг. В марте 1899 года, круша льды Финского залива, корабль торжественно прибыл в Кронштадт, где вывел на чистую воду несколько торговых судов и боевых кораблей.

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

В 1928 году ледокол отправился в устье Эльбы, чтобы вывести из льдов 500 судов. У немцев уже были свои ледоколы, но они не смогли справиться со льдами в ту суровую зиму.

С 1934 года «Ермак» воевал транспорты в устье Оби и Енисея. Всю войну обеспечивал переходы кораблей и транспортов Краснознаменного Балтийского флота между Ленинградом и Кронштадтом. В 1947 году ледокол опять перешел в Северный Ледовитый океан.

Легендарный российский ледокол «Ермак» работал 65 лет! В начале 60-х годов он был еще в отличном состоянии. Но к тому времени советский ледокольный флот пополнился новыми дизель-электрическими судами, а в 1959 году в Советском Союзе был принят в эксплуатацию первый в мире атомоход «Ленин», затем последовали другие атомные ледоколы, и наступила новая эра – эра атомного ледокольного флота.

Сегодня освоение Арктики стоит в повестке дня многих государств. Но какие бы амбициозные цели ни ставили перед собой претенденты на несметные арктические богатства, скрытые под многометровой толщей льда, их практическое достижение невозможно без обеспечения судоходства по северным морям.

Россия потому и считается мощной арктической державой, что обладает единственным в мире атомным ледокольным флотом.

Северный морской путь превратился благодаря атомным ледоколам в постоянно действующую водную магистраль. Атомные ледоколы находятся на трассах Севморпути длительное время, не нуждаясь в заправке, обеспечивая тем самым автономность выполнения задачи, что особенно важно в сложных условиях ледяного Севера.

Государственный флаг СССР на ледоколе «Ленин» был поднят 3 декабря 1959 года. Ледокол проработал 30 лет, на пять лет больше



Первый в мире ледокол «Ермак»



Первый в мире атомный ледокол «Ленин»

проектного срока эксплуатации. 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 провел через льды Арктики 3741 транспортное судно. В 1989 году он был выведен из состава флота.

После апробации первого атомного ледокола стало совершенно ясно, что без атомных ледоколов невозможно обеспечить надежное функционирование Северного морского пути. И с ледоколом-то удалось освоить только западную часть пути, а на восток, где в определенные годы была более тяжелая ледовая обстановка, даже «Ленин» пройти не мог. Поэтому в июле 1971 года на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге заложили ледокол «Арктика» мощностью 75 тыс. л. с. (у ледокола «Ленин» – 44 тыс. л. с.). В мае 1975 года «Арктика» вошла в состав действующего атомного ледокольного флота.

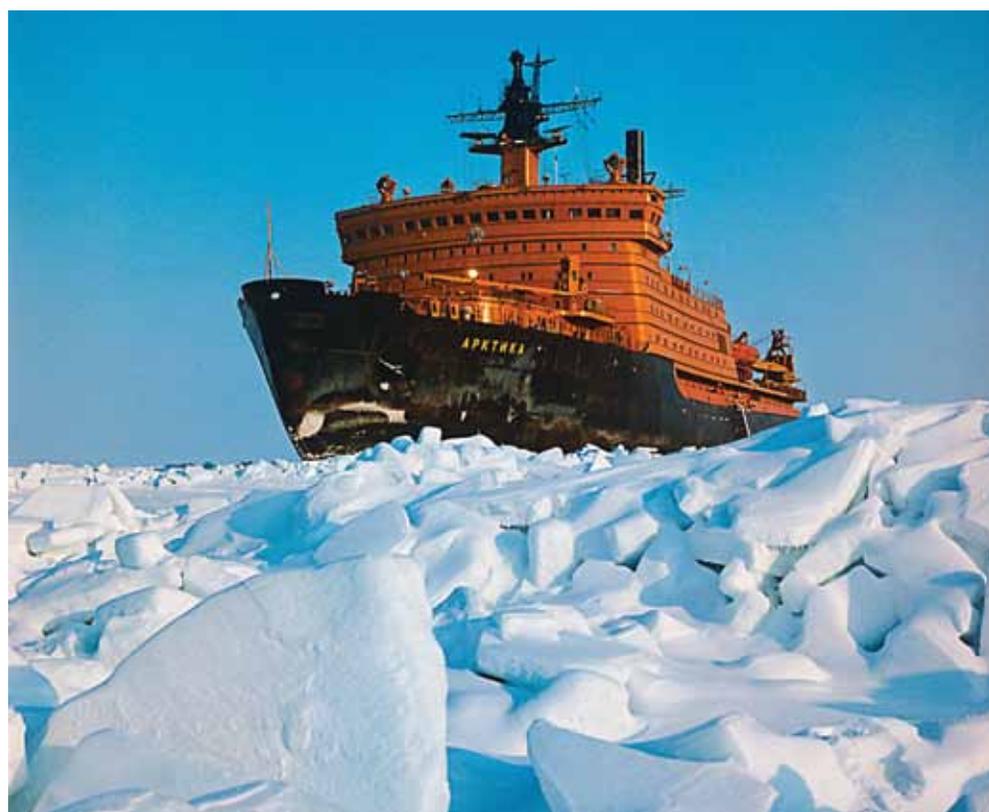
Настоящим «звездным часом» для «Арктики» стало покорение Северного полюса. В экспериментальной экспедиции принимало участие более 200 человек. 17 августа 1977 года в четыре часа утра по московскому времени атомный ледокол, преодолев мощный ледяной покров Центрального полярного бассейна, впервые в мире достиг в активном плавании географической точки Северного полюса. Над полюсом был поднят флаг Советского Союза.

К 1999 году атомный ледокол «Арктика» за 25 лет своей работы прошел во льдах почти миллион миль, покорил полюс, провел за собой около трех тысяч судов с грузами. Но достойную историю ледокола продолжил новый рекорд. Не заходя в порт, атомоход «Арктика» ровно 365 суток, с 4 мая 1999 года по 4 мая 2000 года, работал в морях Северного Ледо-

витого океана, занимаясь проводкой судов на трассах Севморпути (проведено 110 судов), и добавил к своему богатому послужному списку 50 тысяч пройденных миль, из них 32 тысячи во льдах без единой поломки узлов и механизмов ледокола. На момент возвращения из рейса наработка основного оборудования и обслуживающих систем атомного ледокола «Арктика» составила 146 тысяч часов. Эти результаты позволили ученым и эксплуатацион-

щикам поставить вопрос о продлении ресурса работы атомной установки «Арктики» до 175 тысяч часов, а остальных атомных ледоколов – до 150 тысяч.

В августе 2003 года после комплекса работ по продлению ресурса атомный ледокол «Арктика» вновь вышел на трассы Северного морского пути и успешно работал в течение еще девяти лет. 31 июля 2012 года ледокол был исключен из Регистровой книги судов,



Атомный ледокол «Арктика» в Карском море

наработав более 177 тысяч часов при сроке службы 34 года.

После спуска атомохода «Арктика» в 1972 году, с разбежкой в три-четыре года со ступеней сходили атомные ледоколы «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал». Последний в этом ряду – ледокол «50 лет Победы» достраивался 17 лет и был принят в эксплуатацию в марте 2007 года.

Все названные ледоколы относятся к классу «Арктика». От ледокола к ледоколу в связи с ужесточением норм ядерной безопасности появлялись новые системы безопасности: расхолаживания, ввода жидкого поглотителя и т. д. Больше всего новых систем вводилось, когда начались работы по продлению ресурса действующих установок, с целью устранения дефицита безопасности. Однако, парогенерирующий блок, «сердце» установки, осталось без изменения, настолько эффективен был созданный много лет назад проект.

Когда началась перестройка, многие предприятия начали продавать свои секретные разработки. Ледоколы, по счастью, оказались никому не нужны, потому что к этому времени их эксплуатация оказалась глубоко убыточной. Объем перевозок сократился в разы, затраты на такую перевозку не окупались. Тем более затратны были ледоколы, стоящие на приколе. Поэтому никому в голову и не пришло продать иностранцам такую «невыгодную» разработку.

А потом в Арктике обнаружили залежи полезных ископаемых...

Утвержденные в 2008 году «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» определили основные национальные интересы России в Арктике в

части обеспечения социально-экономического развития страны, сохранения уникальных экологических систем и использования Северного морского пути в качестве национальной единой транспортной коммуникации России в арктической зоне.

Протяженность этой транспортной магистрали составляет почти 5,5 тыс. км. На маршруте находится свыше 50 портов, среди них Игарка, Дудинка, Диксон, Тикси, Певек, Providения. По Северному морскому пути осуществляется перевозка добываемых на Севере нефти и газа, леса. Она обеспечивает 90% транспортировки никеля в России и 65% – меди. Северный морской путь – это зона, где могут быть выстроены логистические коридоры, охватывающие весь мир. Они короче всех иных существующих и лежат в сфере ответственности одной страны.

До недавнего времени на Северном морском пути работали четыре атомных ледокола: «50 лет Победы», «Вайгач», «Таймыр» и «Ямал». Срок службы «Таймыра» и «Вайгача», с учетом продленных ресурсных показателей, заканчивается в 2018 году, «Ямала» – в 2020-м. Учитывая это, правительство подписало постановление о строительстве головного универсального атомного ледокола, совмещающего в себе возможности и глубоководного, и мелководного ледоколов. Эта уникальная конструкция позволяет ледоколу работать и на Севморпути, и в устьях сибирских рек. В составе ядерной энергетической установки используется новый тип интегральной реакторной установки «РИТМ-200», разработанной в ОКБМ Африкантов. Тепловая мощность одного реактора – 175 мегаватт. Реакторная установка выполнена с интегральным парогенерирующим блоком,

что позволило конструкторам добиться меньших размеров и массы РУ. Расчетное время работы реактора на одном запасе топлива (20-процентный обогащенный уран-235) – до 10-12 лет. «РИТМ-200» является сегодня самым современным, высокотехнологичным и безопасным ядерным реактором с минимальными массо-габаритными характеристиками.

Современная Арктика – это восемьдесят процентов добычи газа, одиннадцать процентов добычи нефти, девятнадцать процентов добычи никеля и сто процентов добычи апатитов. Четверть от всех энергозапасов мира находится там! Грузопоток в Арктике целиком и полностью связан с вывозом этой продукции, а это многие десятки миллионов тонн. Количество ледоколов необходимо как минимум удвоить, потому что все работающие сейчас уже исчерпывают последние гарантийные сроки службы.

Поэтому столь значимым событием стал пуск на воду самого мощного в мире атомного ледокола «Арктика», который состоялся 16 июня 2016 года. Ледокол был заложен в ноябре 2013 года.

А 22 сентября 2017 года в Санкт-Петербурге был спущен на воду атомный ледокол проекта 22220 «Сибирь», предназначенный для проводки грузов по Северному морскому пути. Торжественная церемония спуска была открыта личным обращением Президента России **Владимира Владимировича Путина**: «Успешная реализация такого грандиозного проекта как ледокол «Сибирь» – большое событие для всех, кто принимал участие в его создании». Президент страны выразил уверенность в том, что этот мощный, оснащенный самыми современными технологиями ледокол значительно



Участники экспедиции на Северном Полюсе встречают атомоход «Сибирь». 1987 г.



Атомоход «50 лет Победы»

укрепит потенциал отечественного атомного флота, будет способствовать решению важных многоплановых задач, стоящих сегодня перед экономикой страны, упрочению позиций России как великой морской державы».

Новые ледоколы будут вводиться в эксплуатацию с 2019 года. Универсальные атомные ледоколы проекта 22220 станут самыми большими и мощными в мире. Длина этих судов составляет 173,3 метра, ширина – 34 метра, водоизмещение – 33,5 тысячи тонн. Они смогут проводить караваны судов в арктических условиях, пробивая лед толщиной до трех метров.

Атомоходы будут обеспечивать проводку судов с углеводородным сырьем с месторождений Ямальского и Гыданского полуостровов и с шельфа Карского моря на рынки стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Ледоколы нового поколения, оснащенные современными элементами защиты и навигации, будут мощнее и быстрее своих предшественников. Но и действующие суда по-прежнему способны на многое. Доказательством тому служит тот факт, что атомный ледокол «50 лет Победы» в августе этого года поставил рекорд скорости хода на маршруте Мурманск – Северный полюс, пройдя его за 79 часов!

Атомоход прибыл на Северный полюс 17 августа 2017 года, совершая мемориальный поход в честь 40-летия первого достижения Северного полюса атомным судном, в точности повторив маршрут, пройденный ледоколом «Арктика» в 1977 году. И если рейс сорокалетней давности занял 176 часов, то сегодня это время сократилось почти вдвое.

А всего за 40 лет полюс достигался в надводном плавании 124 раза, при этом 111 раз – советскими и российскими судами.

В 2015 году при сопровождении российского атомного флота было проведено по Севморпути 195 судов с общей грузовой мощностью 2 млн тонн, в 2016 году – уже 410 судов, объем грузов достиг 5,3 млн тонн. В 2017 году это кратное увеличение сохранится. Специалисты считают, что через три-пять лет объем грузопотока по Севморпути может вырасти до 30-35 миллионов тонн.

«Арктика – регион с очень большим и ещё не использованным потенциалом. И дело не только в наличии месторождений, богатых полезными ископаемыми, а в том, что сама по себе активность развития добычных проектов в регионе может дать заметный прирост к экономике всей страны. Это первое.

Второе – вопросы, связанные с развитием российского транзитного потенциала, таят в себе огромные перспективы не только с точки зрения развития российской экономики, но и укрепления позиции России на внешних рынках.

Третье – вопрос оборонной безопасности.

Росатом представлен во всех трёх направлениях развития Арктического региона. Но развитие транзитного потенциала – это наше флагманское направление. Росатомфлот развивается кратными темпами и сохранит эту динамику, потому что обеспечение круглогодичного судоходства по Северному морскому пути невозможно без использования атомного ледокольного флота», – так оценил перспективы развития генеральный директор Росатома **Алексей Лихачёв**.



Спуск на воду атомохода «Сибирь», 22.09.2017 г.



Отраслевой вуз Росатома отметил вековой юбилей

«Открытие внутри страны высших школ поднимет народный труд на должную высоту и оживит богатства земли, которыми до сего времени пользовались главным образом чужеземцы. Довольно вывозить в сыром виде продукты нашего народного хозяйства за бесценок! Довольно ввозить иноземные фабрикатy! Пора освободить нашу страну от экономического рабства!»

Эти слова были произнесены сто лет назад нижегородским городским головой Д.В. Сироткиным на торжественном молебне по случаю открытия в Нижнем Новгороде политехнического института.

Согласитесь, «поднять труд на должную высоту» и «оживить богатства земли», при некоторой витиеватости стиля и архаичности оборота, – задачи, актуальные и сегодня. А вывоз сырья, вместо того, чтобы наладить его глубокий передел и получить существенную добавленную стоимость – просто насущная тема для наших дней. И требование столетней давности ограничить ввоз «иноземных фабрикатов» – это же чистой воды призыв к импортозамещению. Как будто между тем временем и днем сегодняшним не лежит целое столетие.

Прародителем Нижегородского технического университета стал Варшавский политехнический институт, эвакуированный из Варшавы в разгар Первой мировой войны из-за угрозы захвата немцами западной столицы.

От городских властей Нижнего Новгорода, Одессы, Екатеринослава, Саратова, Самары, Тифлиса, Баку, Екатеринбурга, Омска в правительственные инстанции страны были направлены просьбы разместить Варшавский политех, финансирование которого осуществлялось за счет казны Империи, именно в их городе.

Поэтому Министерство торговли и промышленности России, в ведении которого находился институт, объявило своеобразный публичный тендер, основным условием которого было обязательство города, желающего заполучить институт, собрать на эти цели не менее двух миллионов рублей. Выиграли этот тендер нижегородцы.

Официальным днем рождения нового вуза считается 1 октября 1917 года, когда постановлением Временного правительства был упразднен Варшавский институт и на его базе учрежден Нижегородский политехнический институт (НПИ).

Вековая история политеха богата большими событиями. Из его стен вышли Игорь Иванович Африкантов и десятки других руководителей отечественных предприятий атомной отрасли.



С.М. Дмитриев, ректор ННТУ

В последние годы вуз словно обрел новое дыхание, позволяющее более полно использовать наработанный за столетие потенциал. В ННТУ предприняли серьезные усилия к тому, чтобы вуз стал опорным вузом Росатома. Задача перед опорным вузом ставилась такая, чтобы студенты не просто получили теоретические знания и даже не просто были знакомы с производством, но были бы интегрированы в реальный производственный процесс. Именно с этой целью начали создавать на предприятиях современные базовые кафедры, на которых студенты получают знания по тематике конкретного предприятия от специалистов, непосредственно на этом предприятии работающих. Таким образом, к окончанию вуза



Стенд ФТ-4

выпускники уже прекрасно представляют и структуру предприятия, и его продукцию, и специалистов, рядом с которыми им предстоит работать. Они защищают диплом по тематике, заданной предприятием, и затем реализуют свои разработки на конкретном рабочем месте. Им не требуется много времени для того, чтобы войти в рабочий процесс, им никто уже не скажет: «Забудьте всё, чему вас учили в вузе...». На предприятие приходят вполне адаптированные молодые специалисты, обладающие современными знаниями, которых очень ждут на каждом заводе и в каждом конструкторском бюро.

Одно из наиболее заметных достижений последних лет – возвращение полноценной вузовской науки. В ННТУ создано несколько научных центров, центров информационных технологий, многие из которых за несколько лет стали очень крупными, серьезными научными подразделениями.

Достижения университета были в очередной раз признаны весной 2017 года, когда экспертный совет при Минобрнауки РФ определил ННТУ в качестве одного из победителей второго этапа конкурса по созданию опорных университетов страны. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева вошел в число восьми таких вузов. Опорный университет; по мысли министерских чиновников, это вуз, на который в регионах может опереться промышленность, причем, не только в вопросе подготовки квалифицированных кадров, но и в научном сотрудничестве, в вопросах модернизации производства.

Мы встретились с ректором ННТУ, профессором, доктором технических наук **С.М. Дмитриевым**, чтобы расспросить его о ближайших перспективах развития вуза.

– Сергей Михайлович, еще раз поздравляем Вас со столь знаменательной датой, как столетие университета!

– Спасибо! Нам было очень приятно в этот день получить многочисленные поздравления, в том числе видеообращения министра образования РФ Ольги Юрьевны Васильевой и генерального директора ГК «Росатом» Алексея Евгеньевича Лихачева.

Меня часто спрашивают, что мы считаем главным достижением ННТУ за прошедшие сто лет. Отвечаю без малейших сомнений: наше главное достижение – это те 270.000 выпускников, которым мы дали путевку в жизнь, и которые работали и будут работать на благо России, на благо отечественной промышленности.

В дорожной карте развития вуза в качестве опорного университета на 2017-2021 гг. предусмотрено несколько стратегических

проектов. Один из таких проектов – создание регионального Центра расчетно-экспериментального обоснования инновационных приложений ядерных технологий.

В рамках проекта предусмотрено развитие пяти направлений научной и образовательной деятельности института: «Разработка и верификация отечественных импортозамещающих вычислительных трехмерных кодов (тепломассообмен, гидродинамика и прочность) в оборудовании ядерных энергетических установок»; «Безопасность и ресурс оборудования ядерных энергетических установок с водяными реакторами, в том числе для реакторов универсального атомного ледокола и плавучей атомной станции»; «Развитие технологий создания установок и оборудования для реакторов малой мощности на быстрых нейтронах, охлаждаемых тяжелыми жидкотеплоносителями»; «Математическое моделирование и проектирование устройств СВЧ, КВЧ, терагерцового и оптического диапазонов, в том числе радиационно-стойких волоконно-оптических датчиков» и «Изучение воздействия нейтронного излучения на ресурсные характеристики металлов и сплавов, материалов биологической защиты и воздействия на биологические объекты и окружающую среду».

Важнейшее направление деятельности центра – верификация расчетных кодов, которые разрабатывает Российский федеральный ядерный центр в Сарове. Как известно, в расчетах до сих пор применяется до 95% импортных кодов, поэтому вопрос их замещения на отечественные является очень актуальным. РФЯЦ ВНИИЭФ совместно с ОКБМ Африкантов многие годы занимаются этой проблемой. Разработанные ими коды Logos – полностью импортозамещающие. Они уже успешно используются, но требуют верификации. Наша лаборатория по верификации кодов – крупнейшая в Российской Федерации. Здесь создан новый стенд для исследования изотермических и неизотермических потоков в камере ядерного реактора, оснащенный самым современным измерительным оборудованием. Мощность стенда – 1,5 МВт, и могу уверенно сказать, что ни в одном другом вузе таких стендов нет.

– Чьими силами он был создан?

– Здесь вновь можно говорить о позитивном опыте сотрудничества университета с предприятиями Росатома. Мы проектировали



Магистранты из КНР осваивают тонкости профессии атомщика в НГТУ

и разрабатывали стенд совместно с ОКБМ, а систему управления стендом разрабатывал и изготавливал НИИИС им. Ю.Е. Седакова. Выполнялись все работы на средства университета, полученные за счет программы стратегического развития.

– У вас уже есть заказчики на верификацию кодов?

– Конечно! Заказывает верификацию РФЯЦ ВНИИЭФ, продолжим сотрудничать в этом направлении с ОКБМ. В частности, мы выполняли для них работы по оптимизации конструкции тепловыделяющих сборок для нового атомного ледокола, за которые получили благодарность от заказчика. В официальном письме, полученном от ОКБМ Африкантов, указывается, что «применение технологий численного эксперимента позволило обосновать уникальные характеристики реакторной установки РИТМ-200 для универсального ледокола нового поколения, обеспечив экономию десятков миллионов рублей благодаря отказу от дорогостоящих натурных испытаний. Успехи ОКБМ в этой области достигнуты благодаря тесному сотрудничеству с НГТУ им. Р.Е. Алексеева». Таким образом, материальный «вес» нашей работы оценивается весьма значительными суммами. Стендовые испытания помогают нашим партнерам экономить сотни миллионов рублей как за счет отказа от натурных испытаний, так и за счет экономии времени на проектирование проектов.

Этот проект рассчитан на три года, и мы – уже в учебных целях – устанавливаем в университете так называемый нейтронный конвертор. С точки зрения физики, это модель современного ядерного реактора, на которой студенты будут проводить измерения нейтрон-

ных полей. Учебные ядерные реакторы есть в нескольких вузах: в Москве, в Томске, в нашем университете. Это довольно затратное оборудование: ведь ядерный реактор, каким бы «учебным» он ни был, надо содержать, соблюдая все требования безопасности. А с помощью нашего нейтронного конвертора студенты будут делать все то же самое, при этом затраты на содержание оборудования многократно ниже. Эта лабораторная исследовательская установка предназначена для экспериментального изучения закономерностей распределения потоков нейтронов от локальных источников в замедляющей среде, а также воздействия нейтронных потоков на конструкционные материалы, для научно-исследовательских и поисковых работ в области калибровки и взаимного сличения приборов аппаратуры нейтронного контроля и многих других тем.

Распределенные источники нейтронов находятся в корпусе конвертора, выполненном в ОКБМ Африкантов (кстати, разрабатывали проект молодые специалисты – наши выпускники). Для конвертирования потока быстрых нейтронов используется комбинированная (двойная) замедляющая нейтроны среда – парафин и реакторный графит, а также шесть изотопных источников нейтронов, симметрично размещенных в водородосодержащей компоненте.

Наличие такого оборудования, безусловно, дает новое качество подготовки инженеров-физиков.

В нашем университете также расположен самый большой в мире стенд, заключенный в контур с расходом жидкого свинца 2000 тонн/час при температуре 500°C. На этом стенде мы проводим работы по тематике «Прорыв» для ГК «Росатом» по созданию быстрых реакторов на свинцовом теплоносителе.

– А как развивается международное сотрудничество НГТУ?

– Вполне успешно. Совсем недавно, в конце октября в Китае прошел так называемый Форум мозговых центров в рамках ассоциации университетов «Волга-Янцзы», в которую входят 36 университетов, расположенных в регионах Приволжского федерального округа, и 29 вузов регионов Верхнего и Среднего течения реки Янцзы КНР.

Встреча руководителей университетов состоялась в городе Чэнду, столице провинции Сычуань. Ее участниками стали ректоры 65 вузов из Китая и России, которые прибыли на церемонию запуска университетского альянса, возглавляемого со стороны России Нижегородским государственным техническим университетом и со стороны Китая – университетом Сычуань.

Задача альянса – содействовать в рамках механизма сотрудничества между двумя странами двусторонним обменам по вопросам образования, культуры, науки и техники. Уже сейчас ведутся совместные исследования, проходят научные конференции, семинары, активизировался обмен преподавателями и студентами. НГТУ активно участвует в реализации этих программ.

Членство в Ассоциации остается открытым. Уверен, что к этому механизму присоединится еще больше университетов. У Ассоциации вузов большое будущее.

– Спасибо, Сергей Михайлович! А мы желаем Нижегородскому техническому университету больших успехов в его новом столетии.

Г. МИТЬКИНА



На Форуме мозговых центров в рамках ассоциации университетов «Волга-Янцзы»



Процесс демонтажа ротора из ЦВСД

НВАЭС: всё впервые



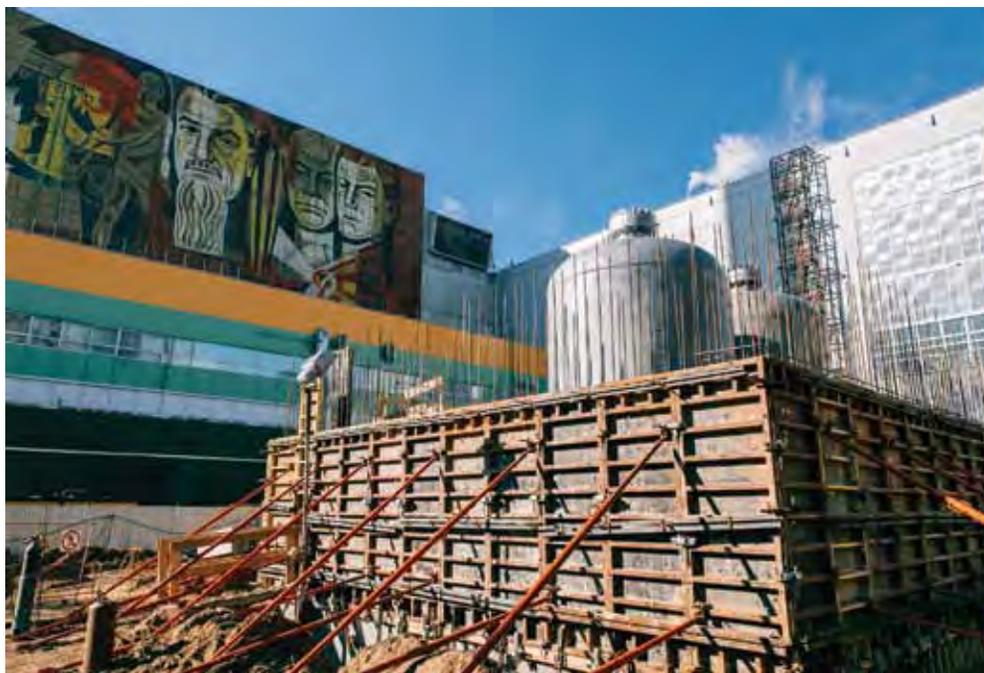
Нововоронежская АЭС – одно из старейших предприятий атомной энергетики РФ. Она является пилотной площадкой строительства энергоблоков с реакторами ВВЭР. Всего на нововоронежской площадке построено и введено в эксплуатацию шесть энергоблоков с реакторами типа ВВЭР. С 1995 г. НВАЭС осуществляет поэтапную модернизацию энергоблоков для приведения их в соответствие с современными стандартами безопасности.

В октябре 2017 г. на энергоблоке №4 с реактором ВВЭР-440 стартовали масштабные работы по модернизации. Существующий 45-летний срок эксплуатации энергоблока №4 Нововоронежской АЭС заканчивается в конце текущего года. В связи с этим 1 декабря он будет остановлен для проведения планово-предупредительного ремонта (ППР) и модернизации, включающей отжиг корпуса реактора, анализ образцов металла реакторной установки, а также установку новейшей системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ) реактора.

За время существования серии энергоблоков с реакторами ВВЭР-440 такая система будет установлена впервые. Её отличие состоит

в том, что при наличии активной системы охлаждения будет ещё и пассивная (без участия человека) Уже сейчас на промплощадке идёт строительство специального здания, в котором установят четыре гидроёмкости российского производства. В них будет находиться запас

борного раствора, с помощью которого в случае нештатной ситуации будет охлаждаться активная зона реакторной установки. Две из четырех гидроёмкостей уже доставлены и устанавливаются на промплощадке Нововоронежской АЭС.



Две гидроёмкости заняли своё место

После окончания работ срок эксплуатации модернизированного энергоблока увеличится еще на 15 лет и составит суммарно 60 лет.

Недавно на НВАЭС успешно завершились работы по модернизации турбогенератора №14 (ТГ-14) пятого энергоблока. ТГ-14 был остановлен в июне 2017 г., продолжительность ремонта составила 105 суток. Работы по модернизации включали ремонт ротора высокого и среднего давления.

– Это была очень сложная технологическая операция, – поясняет заместитель главного инженера по эксплуатации 5-го энергоблока Нововоронежской АЭС Николай Стёпин. – Ротор турбины демонтировали, перевезли в специальном упаковочном контейнере на завод ПАО «Силовые машины» в Санкт-Петербург и там уже провели переоблачивание. Специалисты заменили диафрагмы и рабочие лопатки частей высокого и среднего давления, после чего доставили на пятый энергоблок, где выполнили комплекс доводочных и сборочных работ.

Это была уникальная работа, проведенная в России впервые.

– Турбина такого типа – единственная в стране, и мы первыми провели её модернизацию с переоблачиванием ротора, – отметил и. о. главного инженера Нововоронежской АЭС **Сергей Витковский**.

25 сентября 2017 г. турбоустановка была включена в сеть, а уже 28 сентября выведена на полную мощность.

Шестой энергоблок с реакторной установкой ВВЭР-1200 — самый мощный блок в атомной энергетике РФ, и первый в мире блок АЭС, построенный по «постфукусимским» технологиям безопасности. С момента включения в сеть генератора новейшего энергоблока №6 прошёл ровно год. 20 сентября 2017 г. он был остановлен для проведения первого за период своей эксплуатации планово-предупредительного ремонта (ППР). Это плановая процедура, проводимая на всех российских АЭС с целью предупреждения износа оборудования. Ремонт продлится 60 суток. За это время будут проведены осмотр реактора, перегрузка топлива, ремонт турбогенератора и паротурбинной установки.

Основная задача первого капремонта – проверить именно вращающиеся части. Ротор извлекают из корпуса, и каждый сантиметр его поверхности осматривается в присутствии представителей завода-изготовителя.

Наиболее сложный момент – снятие бандажных колец. При сборке была применена горячая посадка, поэтому соединение получилось очень прочное. Индукционная установка с помощью медной фольги разогревает деталь до 500 градусов по шкале Цельсия. Работа «горит» в буквальном смысле слова.

– Мы грели поверхность бандажного кольца, чтобы оно расширилось и слезло, – объясняет заместитель главного инженера по электротехническому оборудованию **Сергей Смирнов**. – Эта операция выполняется впервые. Установка новая. Ротор тоже новый. Аналогичная серия роторов в условиях производства ещё не разбиралась, поэтому у нас опять всё впервые.

В последующем такую тщательную разборку генератора будут производить каждые восемь лет его работы.

А на строящемся энергоблоке №2 Нововоронежской АЭС-2 (энергоблок №7 НВАЭС) специалисты завершили операцию по обжатию внутренней защитной оболочки здания реактора.



Турбогенератор к эксплуатации готов

Внутри железобетонной конструкции было установлено 128 пучков арматурных канатов системы преднапряжения. Каждый пучок – 55 высокопрочных арматурных канатов, состоящих из 7 проволок толщиной 5 мм.

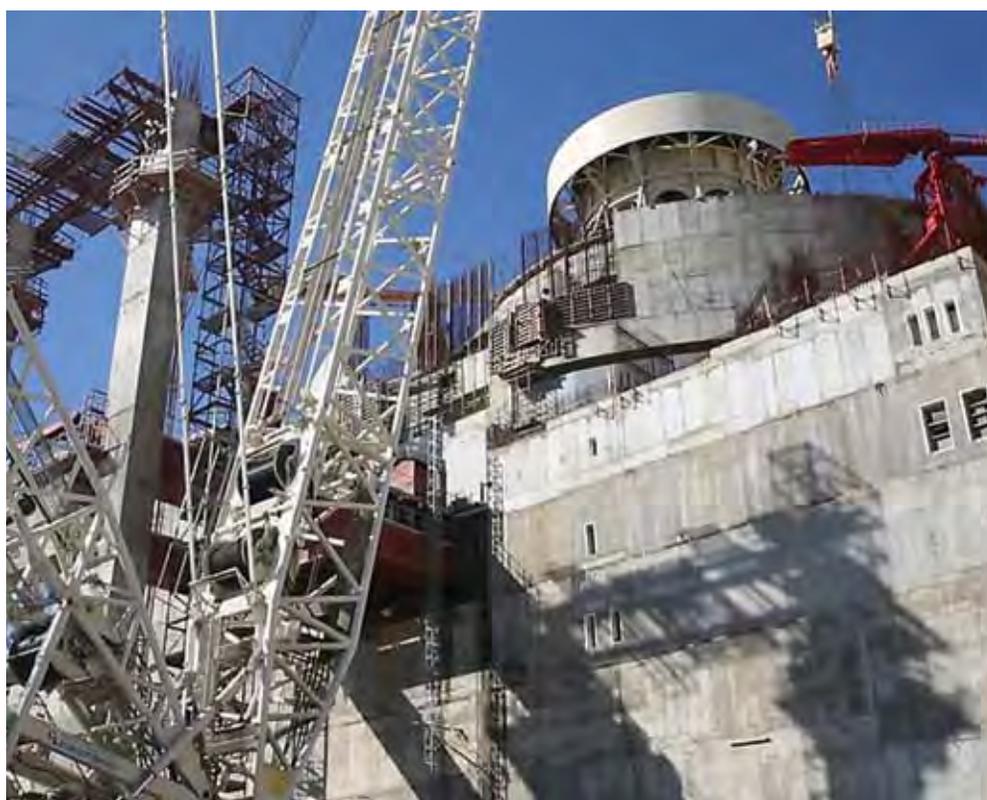
После заполнения каналов раствором и набора им прочности было произведено натяжение арматурных пучков. Каждый пучок натягивался специальным гидравлическим домкратом с усилием 1200 тонн.

На площадке был применён ПСР-проект, который скорректировал порядок натяжения арматурных пучков. Натяжение горизонтальных и вертикальных пучков осуществлялось параллельно, что помогло распределять нагрузку по железобетонной конструкции защитной оболочки более равномерно. Также была осуществлена модернизация оборудования и оснастки.

– Все эти улучшения позволили выполнить работы на две недели быстрее, по сравнению с аналогичной работой, произведенной два года назад на первом энергоблоке НВАЭС-2. При этом соблюдены все требования нормативно-технической документации к качеству производимых работ, – рассказал директор по строительству АЭС ООО «Следящие тест-системы» **Александр Ерохин**.

В настоящее время с помощью автоматизированной системы контроля осуществляется мониторинг состояния железобетонной конструкции энергоблока, по его результатам будет подготовлено заключение о готовности защитной оболочки к испытаниям на герметичность и прочность.

Энергоблок №2 НВАЭС-2 с реакторной установкой ВВЭР-1200 соответствует всем «постфукусимским» требованиям МАГАТЭ. Его ввод в промышленную эксплуатацию планируется в 2019 году.



Энергоблок-2 НВАЭС-2

Система преднапряжения защитной оболочки (СПЗО). Инновации. Стандартизация. Гармонизация



ООО «Следящие тест-системы»
Москва, Россия, 117405
ул. Кирпичные выемки, 2, к. 1
Телефон: 8 (495) 374-67-09
E-mail: info@sts-hydro.ru
Сайт: www.sts-hydro.ru

После финансового кризиса 2008 года, когда руководство ГК по атомной энергии «Росатом» поставило задачу перед компанией ООО «Следящие тест-системы» по созданию отечественной системы предварительного напряжения защитной оболочки АЭС (далее СПЗО), была выполнена большая работа. Она позволила не только обеспечить полное импортозамещение СПЗО, но и вывела систему на более высокий уровень по надежности, совместимости с российскими нормами, технологичности и эффективности по сравнению с ранее используемыми советскими системами преднапряжения и пришедшими на их замену импортными аналогами.

По договору с АО «Концерн «Росэнергоатом» и АО «Атомэнергопроект» выполнены научно-исследовательские работы по отработке технологии СПЗО на специально построенном стенде – макете защитной оболочки в натуральную величину. В первую очередь, были успешно проведены усталостные и прочностные испытания элементов арматурного пучка с повышенными на 10% прочностными свойствами по сравнению с ранее используемыми, что обеспечило выполнение требования Ростехнадзора по коэффициенту запаса СПЗО на прочность до разрыва арматурных пучков. На комиссионных испытаниях элементов СПЗО присутствовали представители АО «Концерн «Росэнергоатом», АО «ВО Безопасность», «НТЦ ЯРБ Ростехнадзор», АО «АСЭ», АО «Атомэнергопроект», АО «Атомпроект», ИБРАЭ РАН, АО «НИИЖБ», НПО «ЦНИИТМАШ», АО «Северсталь-метиз». Конструктивные особенности СПЗО потребовали создания специального оборудования для монтажа арматурных пучков, инъектирования каналообразователей, натяжения арматурных пучков до 1500 тс и измерения усилия натяжения арматурных пучков в процессе эксплуатации АЭС. Все оборудование прошло проверку на стенде-макете перед тем как начать выполнять работы на энергоблоке № 6 Нововоронежской атомной электростанции. Большой объем технологических вопросов был также отработан на стенде-макете защитной оболочки реакторного отделения АЭС:

- измерение коэффициента трения арматурного пучка в различного типа каналообразователях;

- монтаж арматурных прядей по одной и пучком;
- ремонт оборванной пряди;
- инъектирование каналов;
- измерение усилия в натянутом арматурном пучке и др.

После проведенных испытаний и отработки технологий по СПЗО все инновационные технологии, оборудование и материалы были успешно применены при строительстве инновационных блоков №6 и №7 НВАЭС в рамках проекта АЭС-2006, а также стали применяться на БелАЭС. В результате практического применения отечественной СПЗО были существенно сокращены сроки сооружения СПЗО и само сооружение СПЗО вышло на новый, более качественный уровень, а именно: монтаж арматурных пучков производился до трёх пучков в день, натяжение арматурных пучков – до восьми в день, инъектирование каналообразователей сократилось до 50 дней. Разработанные отечественные технологии позволяют и дальше сокращать сроки сооружения СПЗО, но есть проектные ограничения по натяжению арматурных пучков не ранее чем через 6 месяцев после последнего бетонирования защитной оболочки и натяжению всех пучков не менее чем за 30 дней.

В качестве повышения надежности СПЗО при пожаре в межоболочечном пространстве и кольцевом коридоре на выпусках арматурных пучков применена новая система огнезащиты, которая позволяет удерживать температуру арматурного пучка, обоймы анкера, клиновых зажимов и прядей не более 180 граду-



сов в течение 90 минут, в отличие от старых требований к температуре в 450 градусов, при которой происходит отпуск закаленных деталей арматурного пучка и потеря усилия в арматурном пучке. Ремонт такого арматурного пучка возможен, как показали предварительные испытания по ремонтнопригодности пучка, но стоимость такой работы в несколько раз дороже и дольше чем при строительстве.

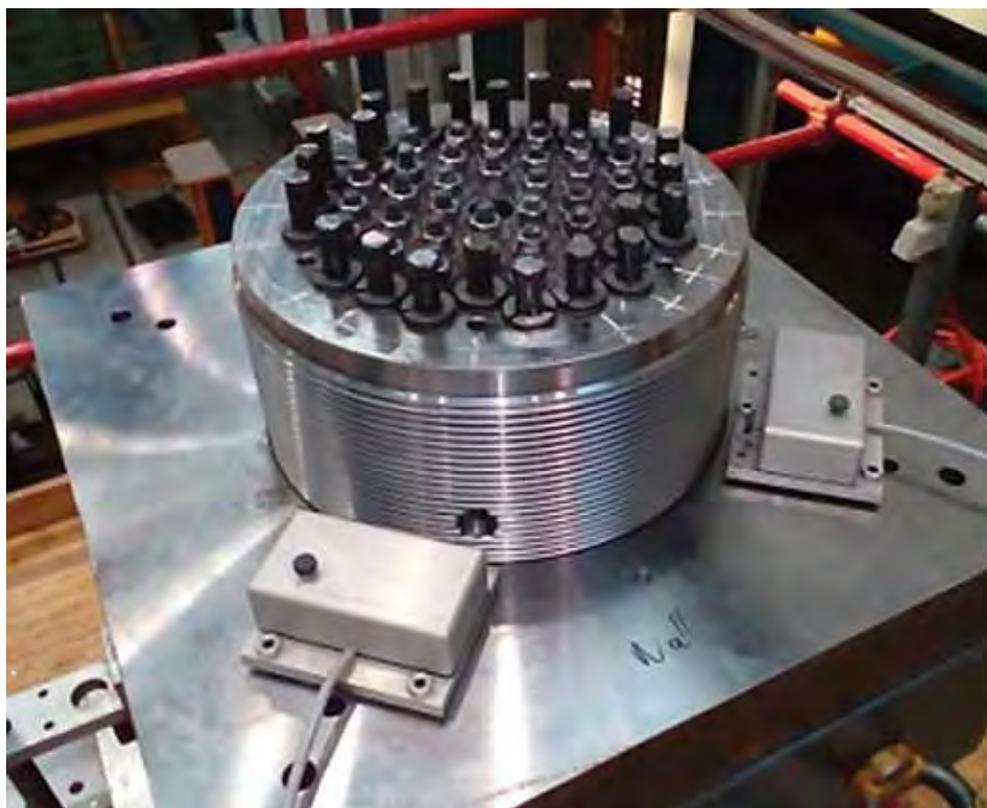


Очень важный вопрос пришлось также решить при разработке технологических платформ в межоболочечном пространстве, с которых производится монтаж, натяжение и инъектирование арматурных пучков, а также производятся операции по мониторингу усилия натяжения всех арматурных пучков в процессе всего срока эксплуатации АЭС. В отечественной СПЗО применены стационарные площадки на разных уровнях, что существенно упростило конструкцию технологических платформ, исключило требования Ростехнадзора к подъемно-транспортному оборудованию и исключило необходимость содержания специалиста по обслуживанию сложного грузоподъемного механизма. В результате разработки отечественной СПЗО был получен ряд авторских свидетельств на патенты и полезные модели.

Конструктивные решения СПЗО, принятые нами в проекте «АЭС-2006» на энергоблоках №6 и №7 НВАЭС, продемонстрировали самые лучшие показатели напряженно-деформированного состояния защитной оболочки из всех ранее проведенных испытаний в период проведения испытаний герметичного объема на прочность избыточным давлением в 4,6 атмосферы. Остаточные напряжения сжатия бетона при максимальном давлении составляли порядка 30% от предварительного, что позволяет прогнозировать еще большее допустимое давление при аварии. По результатам всех комиссионных и пневматических испытаний и на основании эффективности строительно-монтажных работ СПЗО «СТС», примененная на блоках №6 и №7 НВАЭС, внесена в проект ВВЭР ТОИ.

Параллельно с разработкой отечественной СПЗО для вновь строящихся АЭС была разработана отечественная СПЗО-М по замене старых арматурных пучков из 456 параллельных проволок диаметром 5 мм на пучки из 37 и 46 арматурных прядей на действующих блоках с ВВЭР-1000. Для пучков СПЗО-М были также же проведены аналогичные комиссионные испытания, как и для СПЗО. В мае 2017 года была произведена замена трех арматурных пучков на энергоблоке №1 Ростовской АЭС, что способствовало сокращению сроков ППР на пятеро суток. Отечественная СПЗО-М стала полностью импортозамещающей, когда кроме системы анкеров были применены впервые отечественные арматурные пряди, которые прошли необходимый контроль по требованиям Ростехнадзора для элементов 2-го класса безопасности АЭС.

Вместе с научно-исследовательской работой по созданию отечественной СПЗО проводились работы по разработке нормативно-технической документации по СПЗО АЭС, так как такой документации практически не существовало, а технические требования к СПЗО были представлены в «Исходных технических требованиях» (ИТТ) на СПЗО для каждой АЭС индивидуально, которые в основном содержали требования иностранных норм. Первый стандарт по СПЗО был выпущен в СРО «Союзатомстрой» в 2014 году СТО СРО-С 60542960 00017-2014 «Система предварительного напряжения защитной оболочки реакторного отделения АЭС. Требования к конструированию, строительству, эксплуатации и ремонту». Аналогичным стандартом по СПЗО стал стандарт организации Национального объединения строителей СТО НОСТРОЙ 2.23.115-2013 «Система предварительного напряжения защитной оболочки реакторного отделения АЭС. Требования к конструированию, строительству, эксплуатации и ремонту» в 2015 году. В 2017 году вышла новая редакция первого стандарта,



выпущенного Государственной корпорацией «Росатом» СТО 95 12006-2017 «Система предварительного напряжения защитной оболочки реакторного отделения атомной электрической станции. Общие требования, где были учтены определенные формулировки, проверенные на практике требования и вопросы мониторинга в процессе эксплуатации АЭС.

Расширение географии строительства российских АЭС за рубежом требует гармонизации российских технических требований к системе с зарубежными нормами, так как в ряде стран действуют только собственные нормативные требования или приняты требования определенных стран. Для СПЗО во всех случаях достаточно получение сертификата соответствия European Technical Assessment. Обязательными испытаниями при получении сертификата European Technical Assessment являются: усталостные испытания двух арматурных пучков на 2 млн циклов; прочностные

испытания на 95% от разрыва арматурного пучка; испытания трех призм на прочность системы «бетон-опорный стакан-арматура косвенного армирования» на усилие 110% от усилия разрыва арматурного пучка.

Применение в системе преднапряжения компактированных канатов стало новым направлением для развития преднапряжения с целью увеличения их прочности и надежности.

По итогу восьмилетней работы по созданию отечественной СПЗО АЭС можно с уверенностью сказать, что система прошла успешное внедрение на двух энергоблоках АЭС, технологии монтажа СПЗО ООО «СТС» используются на Белорусской АЭС, началась поставка отечественной СПЗО на АЭС «Руппур», а также система продолжает совершенствоваться.

С.Л. Ситников, технический директор ООО «Следящие тест-системы», к.т.н., академик Академии проблем качества





ОРГЭНЕРГОСТРОЙ ПУТЬ ИННОВАЦИЙ

**115114, Российская Федерация,
г. Москва,
Дербеневская набережная, д. 7, стр. 10
Тел.: +7 (495) 287-88-72
Факс: +7 (495) 287-88-73
E-mail: post@ioes.ru
www.ioes.ru**

АО «Институт «Оргэнергострой» первоначально задумывался как проектный институт, осуществляющий разработку и внедрение методов организации энергетического строительства с целью решения проблем энергодефицита в быстро развивающемся государстве послевоенного периода.

Для работы в Институте привлекались лучшие специалисты из числа проектировщиков и инженеров -строителей СССР, что способствовало становлению Оргэнергостроя, как ведущей научно-исследовательской, проектно-изыскательской и технологической организации отрасли.

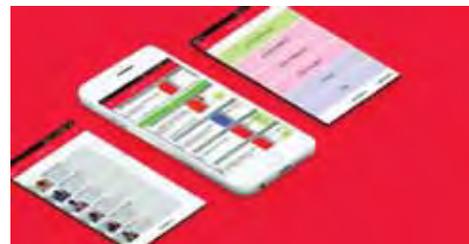
В советский период на ВДНХ экспонировалось свыше 120 разработок института, которые

были по достоинству оценены и награждены 192 медалями, в том числе, тремя золотыми, 37 серебряными и 152 бронзовыми.

Институтом разрабатывались не только инновационные методы и технологии, но также передовые конструкции механизмов и составы строительных материалов, что в совокупности позволило значительно снизить трудозатраты и сроки возведения объектов энергетики, повысить качество производимых работ.

Оргэнергострой разработал и внедрил обязательные технологические правила строительства АЭС с реакторами ВВЭР-1000 ОТП 56, Токтогульский метод бескранового бетонирования, улучшенный состав бетонной смеси для радиационной защиты, сборно-разборные бетономесительные установки и др., применяемые до сих пор.

Сегодня Оргэнергострой – современная, широко диверсифицированная строительная организация с разветвленной сетью филиалов по всему миру, способная комплексно и качественно реализовывать проекты атомной, тепловой, нефтегазовой и промышленной отрасли, чему способствует внедрение и использование инноваций во всех сферах деятельности компании, в том числе:



- сталефибробетонной несъемной опалубки, применяемой при сооружении современных АЭС, созданной высококлассными специалистами АО ОЭС в целях повышения качества и долговечности возводимых объектов, а также снижения стоимости и сроков реализации проекта;

- прогрессивной технологии информационного моделирования зданий и сооружений (BIM), применение которой позволяет значительно ускорить процесс проектирования, дает возможность оперативного внесения необходимых корректировок, быстрой аналитики и расчёта затрат на материалы;

- системы мониторинга строительных конструкций, используемой с целью контроля деформационного состояния несущих





конструкций каркаса при проведении капитального ремонта и выполнении ремонтно-восстановительных работ;

- уникальной корпоративной программы OES-Project, способствующей эффективному построению системы комплексного управления проектом с целью контроля процесса выполнения работ, как собственными силами, так и подрядными организациями, на каждом этапе строительства из любой точки мира. Данная программа способна осуществлять календарно-сетевое планирование, обеспечивать более продуктивный надзор за соблюдением техники безопасности и оп-

тимизировать процесс контроля качества производимых работ;

- комплексного методического и технического подхода к оценке внешних воздействий при осуществлении комплексных инженерных изысканий, разработанного нашими специалистами на основе картирования и прогнозирования внешних воздействий с применением широкого спектра методов (ретроспективный анализ, обработка дистанционных материалов, сбор и обобщение архивных данных, полевые исследования, расчеты и математическое моделирование).



Orgenergostroy – way of innovations

Initially JSC «Institute «Orgenergostroy» was founded as designing institute developing and introducing methods of power engineering construction in order to solve problems related to power shortage in high-developing country of post-war period.

Best specialists, designers and engineers of USSR were involved for works in the Institute that contributed to development of Orgenergostroy as scientific-research, design, engineering survey and technological branch.

During Soviet period over 120 achievements were exposed at VDNKh ((All-Union Exhibition of Achievement of National Economy) that were appreciated and awarded by 192 medals, including 3 golden, 37 silver and 152 bronze.

The Institute developed not only innovative methods and technologies, but also advanced structures of mechanisms and compositions of building materials that as a whole allowed reduce significantly labor input and time of construction of power engineering objects and increase quality of performed works.

Orgenergostroy developed and introduced mandatory regulations of construction of NPPs with VVER-1000 OTP 56 Reactor plants, Toktogulsky method of craneless concreting, modernized composition of concrete mix for radiation protection, dismountable concrete mixers, etc. used up to now.

Nowadays Orgenergostroy is a modern, widely diversified building organization with network of branches around the world able comprehensively and qualitatively realize nuclear, thermal, gas and oil and industrial projects to which introduction and application of innovations contribute in all domains of activities of the company, including:

- patented steel-fiber stay-in-place forms used during construction of modern NPP, designed by highly qualified specialists of JSC OES in order to upgrade the quality and increase durability of built objects and reduce the terms of project realization;

- progressive technology of buildings and structures modeling (BIM) application of which (technology) enables accelerating significantly designing process, introducing operatively required corrections, quick analyzing and calculating expenditures for materials;

- system of monitoring of civil structures in order to control strain state of load bearing structures of frame during overhaul and repairs and recovery works;

- unique corporate software OES-Project contributing to effective building of project comprehensive management in order to control work execution process using both own forces and sub-contractors at each stage of construction from any point of the world. Said software enables time-scheduling, providing more effective supervision of observance of safety engineering and optimizing QC of performed works;

- comprehensive methodological and technical approach to assessment of external effects in process of comprehensive engineering survey developed by our specialists based on mapping and forecasting external effects using wide spectrum of methods: retrospective, analysis, processing of remote materials, collection and generalization of archive data, field investigations, calculations and mathematical modeling.

Анализ материалов детектора прямого заряда

Е.В. Зайцев
ФГУП «ПО «Маяк»

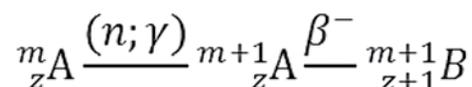
Для контроля плотности потока тепловых нейтронов в активной зоне реактора применяются детекторы прямого заряда (ДПЗ) из-за стойкости к радиационному воздействию, компактности и низкой стоимости их применения. Наиболее распространены электроды ДПЗ из родия, но в нашем случае их применение неоправданно по условиям решаемой задачи из-за повышенных плотностей потока нейтронов и, соответственно, их быстрого распада.

ДПЗ состоит из эмиттера, коллектора и разделяющего их диэлектрика. Для эмиттера используют материалы, в которых под влиянием нейтронного облучения образуются заряженные частицы. Уходя с эмиттера и собираясь на коллекторе, эти частицы создают разность потенциалов. Определяемый ею ток пропорционален плотности потока нейтронов в месте установки детектора.

Материалы других конструктивных элементов ДПЗ выбирают таким образом, чтобы количество образующихся в них заряженных частиц, способных влиять на ток ДПЗ, было намного меньше, чем в эмиттере.

ДПЗ представляет собой генератор тока, причем непосредственно измеряется ток короткого замыкания. Использование ДПЗ в режиме короткого замыкания определяет целый ряд преимуществ этого метода. К ним относятся значительное снижение требований к сопротивлению изоляции детектора, что позволяет использовать ДПЗ при высоких температурах, и относительно малое влияние помех на работу низкочастотного измерительного прибора.

В работе ДПЗ используется реакция (n, γ) с образованием и последующим распадом β -активного изотопа, определяемый ею ток (активационная составляющая $i_{\text{акт}}$) пропорционален плотности потока нейтронов. Эту реакцию можно записать следующим образом:



где m – массовое число изотопа ${}_Z^{m+1} A$;
 Z – атомный номер изотопа.

Задача выбора материала эмиттера ДПЗ сводится к поиску баланса между удельными чувствительностью и радиационной стойкостью: эти два ключевые параметра находятся в обратнопропорциональной зависимости, то есть, чем больше чувствительность, тем меньше радиационная стойкость.

Поэтому при плотности потока нейтронов $10^{14} \frac{\text{нейтр}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ оптимальная чувствительность будет в диапазоне $10^{-20} - 10^{-20} \frac{\text{А} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{нейтр}}$

Наиболее перспективный для применения в качестве материала изолятора – монокристаллический оксид алюминия. В настоящее время в Калининградской области создано производство по выращиванию трубок, нужного диаметра, из монокристаллического оксида алюминия.

Наиболее перспективный материал эмиттера – ванадий.



Российские АЭС оснащаются оборудованием «ЭКРА»

В этом году технические специалисты НПП «ЭКРА» проводят выездные семинары и тренинги с целью обеспечения техподдержки и обучения персонала атомных станций: Белоярской АЭС, Смоленской АЭС, Балаковской АЭС, Ростовской АЭС, Ленинградской АЭС, Калининской АЭС, Курской АЭС, Нововоронежской АЭС.

Основной темой выездных семинаров на Курской и Нововоронежской АЭС стала презентация шкафов противоаварийной автоматики, устройств управления присоединением и регистраторов аварийных событий. Для служб РЗА, метрологии, испытаний и диагностики был проведён тренинг по испытательным приборам компании-партнёра OMICRON (Австрия).

В качестве практической части были проведены испытания на действующем оборудовании Курской АЭС. Так, на ОРУ-750 кВ была проведена демонстрация возможностей испытательного оборудования OMICRON – TESTRANO 600, FRANEO 800.

История плодотворного сотрудничества концерна «Росатом» и ГК «ЭКРА» насчитывает многие годы поставок высококлассного оборудования. На каждой атомной станции России внедрено и эксплуатируется большое количество шкафов РЗА и НКУ. К примеру, в 2017 году оборудованием производства компании «ЭКРА» была оснащена электроподстанция ПС 330/10 кВ стройбазы Курской АЭС-2. Эта строящаяся электроподстанция должна будет подать питание



на правый берег реки Сейм к объектам стройбазы Курской АЭС-2 и к строящемуся комплексу переработки радиоактивных отходов.

Лакокрасочные материалы Холдинга ВМП для антикоррозионной защиты и декоративной отделки конструкций объектов атомной энергетики



Предприятие Научно-производственного холдинга ВМП ООО НПФ «ВМП-НЕВА»

г. Санкт-Петербург
+7 (812) 640-55-20, 676-20-20
vmp-holding.ru

Научно-производственный холдинг ВМП – российская компания, основанная в 1991 г., сферой деятельности которой является разработка, производство и реализация лакокрасочных материалов промышленного назначения.

Холдинг ВМП является лидером среди российских производителей лакокрасочных материалов для антикоррозионных покрытий, рассчитанных на длительный срок эксплуатации, а также производителем материалов для формирования огнезащитных покрытий, рассчитанных на условия целлюлозного и углеводородного пожаров и наливных полов.

В настоящее время Холдинг ВМП – это группа динамично развивающихся научных, производственных и сервисных организаций.

Головной офис расположен в Екатеринбурге, а производственные мощности – в Екатеринбурге, Арамиле (Свердловская обл.) и Санкт-Петербурге.

Холдинг осуществляет полный цикл работ: от разработки и производства продукции до ее послепродажного технологического сопровождения.

Производственный ассортимент Холдинга ВМП представлен антикоррозионными лакокрасочными материалами для защиты металла и бетона на эпоксидной, полиуретановой, винилово-эпоксидной основах под зарегистрированными торговыми марками Холдинга ВМП: **ЦИНОЛ, ЦВЭС, ЦИНЭП, ЦИНОТАН, ВНИКОР, НЕФТЬЭКОР, ИЗОЛЭП, ПОЛИТОН ФЕРРОТАН, АЛПОЛ**, акриловыми и эпоксидными огнезащитными составами серии **ПЛАМКОР** с пределом огнестойкости в условиях целлюлозного



Нововоронежская АЭС



Машинный зал ЛАЭС

и углеводородного горения до 120 мин., для эксплуатации как внутри, так и вне помещений, а также эпоксидными и полиуретановыми самовыравнивающимися материалами для наливных полимерных покрытий полов серии **ГУДЛАЙН**.

Производство и поставка антикоррозионных лакокрасочных и огнезащитных материалов для объектов атомной энергетики является одним из приоритетных направлений деятельности Холдинга ВМП.

Материалы Холдинга ВМП используются для защиты:

- металлоконструкций и бетонных поверхностей зоны контролируемого доступа
- металлоконструкции свободной зоны внутри станции
- металлоконструкций, эксплуатирующихся в условиях открытой атмосферы
- конструкций систем охлаждения станции (цирк-водоводы, брызгальные бассейны, конструкции градирен, бассейнов смешения)
- сороудерживающих решеток
- ловушек расплава
- резервуаров различного назначения
- контейнеров для ядерных отходов
- опор ЛЭП и порталов ОРУ
- несущих металлоконструкций внутренних помещений станций и хранилищ, требующих обеспечения огнезащиты в условиях горения целлюлозного и углеводородного пожаров.

Холдинг ВМП имеет большой положительный опыт поставок своих материалов на объекты Государственной корпорации «Росатом».

Материалы Холдинга ВМП применялись при строительстве ЛАЭС-2, Белорусской АЭС, Нововоронежской АЭС-2; при ремонте Ростовской АЭС, Нововоронежской АЭС, Калининской АЭС, Кольской АЭС, Курской АЭС, Белярской АЭС, ЛАЭС.

Одной из последних разработок Холдинга ВМП, специально предназначенной для антикоррозионной защиты конструкций из металла и бетона в зонах контролируемого доступа и реакторного блока атомных электростанций, является двухупаковочная эпоксидная эмаль **ВНИКОР ЭП-1155Д**.

Эмаль **ВНИКОР ЭП-1155Д** рекомендуется для применения как в качестве самостоятельного ремонтпригодного покрытия, так и в составе системы покрытий. Эмаль может быть использована как для защиты объектов нового строительства, так и ремонта уже эксплуатируемых; в том числе наносится по

старым, плотно держащимся покрытиям из эмали ЭП – 5285.

Покрытия на основе эмали **ВНИКОР ЭП-1155Д** соответствуют ГОСТ Р 51102-97 «Покрытия полимерные защитные дезактивируемые. Общие технические требования» и предписаны АО «НИКИМТ-Атомстрой» для применения в помещениях всех типов.

По результатам проведенных испытаний, покрытия на основе эмали **ВНИКОР ЭП-1155Д** продемонстрировали способность обеспечить эффективную антикоррозионную защиту изделий в условиях крайне жестких эксплуатационных нагрузок, включая режимы максимальной проектной аварии, сопровождающейся потерей теплоносителя.

На сегодняшний день эмаль **ВНИКОР ЭП-1155Д** – это единственный материал в России, который продемонстрировал отличную стойкость покрытия в смоделированных климатических условиях штатной работы реакторного блока и **обоснованный прогноз эксплуатационного срока службы покрытия в течение 50 лет**.

Эмаль **ВНИКОР ЭП-1155Д** – это технологичный и легкий для применения материал, наносимый на подготовленную поверхность оборудованием безвоздушного распыления или кистью. Все это позволяет нам предлагать данный материал проектировщикам и эксплуатационным службам станций, заводам по переработке ядерных отходов и хранилищ везде, где предъявляются высокие требования по безопасности объектов Государственной корпорации «Росатом».

Управление качеством выпускаемой продукции и бизнес-деятельность Холдинга ВМП осуществляется в соответствии с системой менеджмента качества, сертифицированной на соответствие ISO 9001:2008 международной группой Bureau Veritas Certification.

Холдинг ВМП имеет представительства в Москве, Казани, Саратове, Самаре, Нижнем Новгороде, Красноярске, Воронеже и Новосибирске. Развита дилерская сеть компании охватывает территорию России, Белоруссии, Казахстана, Киргизии, Болгарии, стран Балтии и США. Это позволяет организовывать оперативные поставки, иметь необходимые складские запасы и осуществлять послепродажное технологическое сопровождение.



Трубы охлаждающего контура ЛАЭС 2

Расчёт несущих конструкций ядерных реакторов в конечно-элементной системе Marc

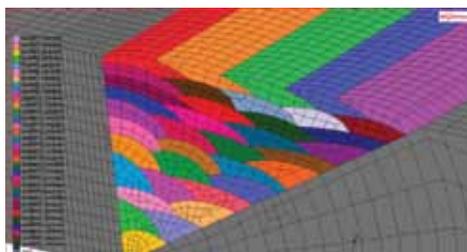
А.В. Жарков
MSC Software

При разработке конструкций ядерных реакторов возникает ряд сложных задач моделирования и анализа несущих конструкций, таких как анализ нагрузок и прочности корпусных деталей ядерного реактора, в частности с устройствами для снижения сейсмических нагрузок, отработка прочности и долговечности сварных корпусных деталей с учётом остаточных напряжений и деформаций от сварки, отработка прочности конструкции теплообменников (ТВЭЛов) при длительных тепловых, механических и радиационных воздействиях, и др. Многие из этих задач необходимо решать в нелинейной постановке, что обусловлено наличием переменного контактного взаимодействия между деталями; нелинейными свойствами пластичности, ползучести, гиперупругости материалов; необходимостью проведения связанного тепло-прочностного анализа функционирования деталей в случаях влияния деформированного состояния деталей на теплопередачу; учёт зависимостей тепловых, механических и других свойств материалов от температуры, и т. д.

Одной из систем анализа, активно используемых на профильных российских и зарубежных предприятиях-разработчиках, является система Marc, поставляемая корпорацией MSC Software (США). С момента начала разработки в конце 60-х годов XX в. система Marc вобрала передовые технологии инженерного анализа прочности и динамики конструкций, теплопередачи, электро- и магнитоэластики, связанных видов анализа. Решатель Marc с самого начала разработки предназначен для решения задач в полностью нелинейной постановке, в связи с чем эффекты больших переме-



Корпус ядерного реактора

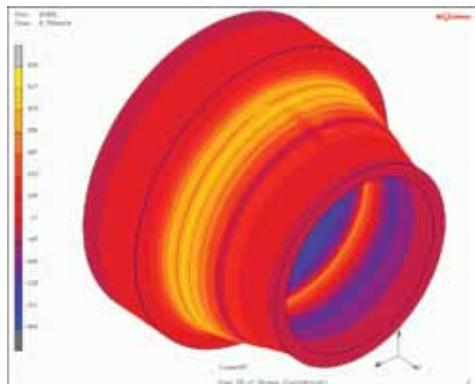


Расчётная модель для анализа технологического процесса сварки. Показаны сварные швы в модели

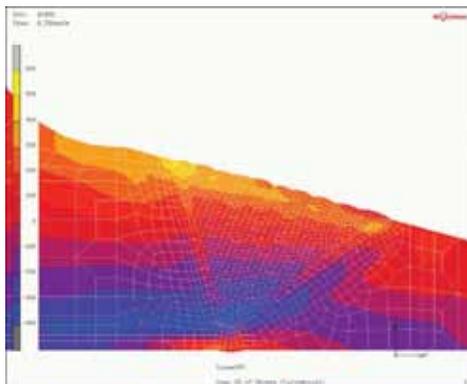
щений и деформаций, нелинейных свойств материалов, высокоточного анализа контактного взаимодействия учитываются по умолчанию и с применением самых современных методик. Надёжные итерационные методы в сочетании с

быстрыми матричными решателями и широкими возможностями параллельных вычислений позволяют решать задачи больших размерностей за минимальное время на минимальных вычислительных ресурсах. Предоставляемые возможности программирования позволяют модифицировать и дополнять алгоритмы решателя, пре- и постпроцессора, что ещё более расширяет круг решаемых задач и превращает Marc в инструмент не только продвинутого инженера, но и учёного.

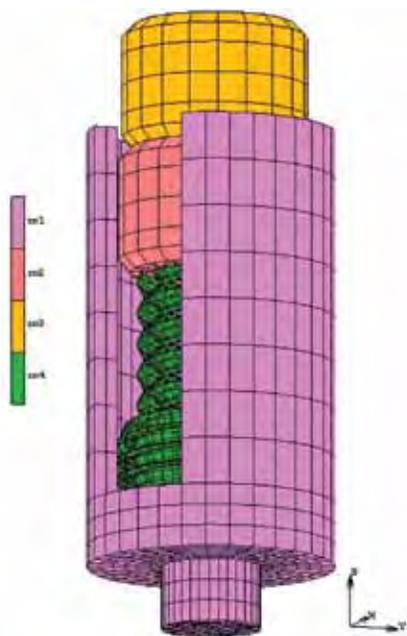
Особого внимания заслуживают специализированные модули решения задач повышенной сложности. Один из таких модулей предназначен для моделирования технологических процессов автоматической шовной сварки. Marc позволяет рассчитывать как распространение тепла в процессе сварки, так и напряжённо-деформированное состояние (НДС) свариваемых деталей, с учётом возникновения в них новых механических связей в виде сварных швов, изменения механических свойств металлов в зоне термовлияния, коробление деталей, остаточные напряжения после сварки. Широкие возможности задания распределения теплового потока в зоне сварочной ванны позволяют с высокой точностью моделировать дуговую, лазерную и другие виды сварки. Гибкое задание траекторий и ориентации сварочных головок, применение различных классов конечных элементов для теплового и структурного анализа позволяет настроить расчётную модель на эффективное и точное моделирование процессов сварки. Это, в свою очередь, позволяет ещё до изготовления натуральных изделий определять технологические параметры: количество проходов сварки, их направление и подаваем-



Напряжённое состояние модели патрубка после расчёта процесса сварки в Marc



Напряжения в сварных швах, рассчитанные в системе Marc



Подборка ТВЭЛа: оболочка, гермоузел, пружина, таблетки топлива. Модель для расчёта в Marc

мую мощность, предпочтительные места прихватки, начальную конфигурацию заготовок, требуемую для достижения заданной формы конечного изделия после его остывания и выдержки. При необходимости моделирование процессов сварки можно дополнить последующим или предшествующим тепловым и механическим нагружением, анализом релаксации напряжений с течением длительного времени, другими технологическими операциями: наплавка, резание, штамповка, разделительные операции и др. Такой комплексный подход к моделированию позволяет решать сложные задачи разработки конструкций для ядерных реакторов и других изделий энергетической отрасли.

Исследовательский институт BAY-LOGI (Будапешт, Венгрия) провёл расчётное и экспериментальное исследование НДС корпуса ядерного реактора ВВЭР-440. Целью исследования была оценка технического состояния и возможностей ремонта корпусов реакторов, которые эксплуатируются 20-30 лет.

В связи с невозможностью проведения измерений на объекте рассматривалось создание полноразмерной физической модели корпуса и отработки технологии ремонта на ней, но такое решение потребовало бы масштабных финансовых затрат. Альтернативой могла стать уменьшенная физическая модель и математическое моделирование полноразмерного корпуса. Стоимость второго подхода существенно ниже, однако возможность его использования зависела от точности и полноты численного моделирования. Было принято решение о создании масштабной физической модели отдельных участков корпуса реактора. Моделирование масштабной модели и всего корпуса проводилось с помощью системы Marc и пре-постпроцессора Mentat. Проводились расчёты начального НДС после сварки, воздействия эксплуатационных нагрузок, анализ НДС при проведении ремонтных работ.

На первом этапе определялись остаточные напряжения при сварке масштабной модели. Применялась сталь толщиной 40 мм. Сварка проводилась в 39 проходов. Параллельно проводилось моделирование в Marc. Сравнение измеренных на натурном изделии и вычислен-

ных в Marc остаточных напряжений подтвердило правильность выбора расчётной схемы, назначения свойств материалов и элементов.

В дальнейшем подтверждённые параметры были перенесены на модели других участков корпуса реактора. Моделировались места сварных соединений патрубков корпуса реактора, где сварка производилась за 98 проходов. Применялась методика, описанная выше.

Отработанные на первом этапе расчётные модели были использованы на втором этапе при моделировании процесса сварки и дальнейшего функционирования корпуса реактора. Результаты устроили специалистов предприятия-разработчика, было принято решение об отказе от строительства и испытаний полноразмерного макета корпуса реактора. Положительный экономический эффект от применения Marc в рассмотренном случае измерялся миллионами долларов.

Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) – ответственный узел в составе реактора. Обеспечение эффективного тепловыделения, сохранения прочности в течение всего срока эксплуатации, предотвращение утечек радиоактивных веществ в теплоноситель, отработка технологии сборки и разборки ТВЭЛов – примеры актуальных задач, решение которых требует численного моделирования. Моделирование сборных конструкций ТВЭЛов, содержащих таблетки с ядерным топливом, может производиться в системе Marc.

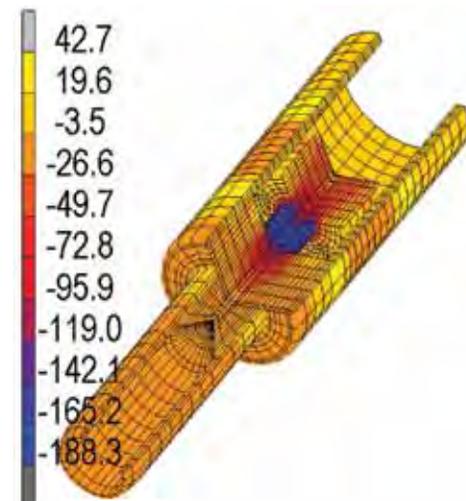
В процессе ядерных реакций выделяются продукты распада, что приводит к увеличению объёма делящихся веществ («распуханию») и, в свою очередь, создаёт дополнительные механические нагрузки на конструкцию ТВЭЛа. Решатель Marc позволяет моделировать распухание топлива, в том числе путём задания зависимости объёмной деформации материала от плотности потока нейтронов. В дополнение к этому, точное моделирование температурозависимых свойств упругости, пластичности и ползучести материалов, контактного взаимодействия между деталями, действия механических и тепловых нагрузок в процессе длительной эксплуатации, возможность связанного тепло-прочностного анализа, позволяет комплексно подойти к моделированию эксплуатации ТВЭЛов и технологических процессов работы с ними. Моделирование в Marc может способствовать надёжному использованию существующих и разработке новых конструкций ТВЭЛов.

АО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара» использует систему Marc при расчётной отработке конструкции ТВЭЛов. Специалисты предприятия проводят анализ механической прочности элементов конструкций ТВЭЛов, сборных конструкций ТВЭЛов, дистанцирующих решёток, и др. В частности, проводятся работы по моделированию ТВЭЛов реакторов ВВЭР, гермоузлов, фиксаторов, решение комплексных задач взаимодействия топливных таблеток с конструкциями ТВЭЛов при различных режимах работ и технологических операциях. Рассматривается функционирование ТВЭЛов в случае разрушения таблеток. Также моделируются процессы прессования таблеток с ядерным топливом. Ведётся разработка перспективных инновационных изделий в этой области. Специалисты предприятия активно применяют средства программирования в среде Marc и Mentat.

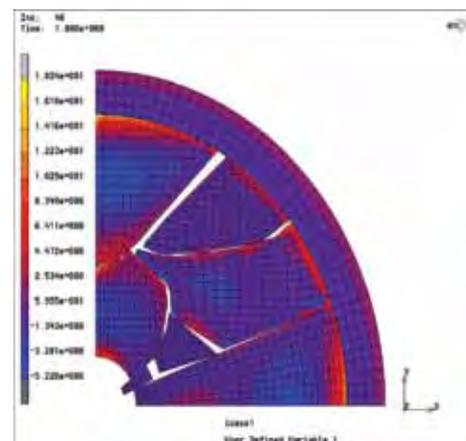
Автор выражает благодарность специалистам АО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», в особенности Б.А. Каширину, за любезное разрешение привести иллюстрации из докладов на конференциях MSC Software.



Сборная конструкция ТВЭЛа, модель для расчёта в Marc



Осевые напряжения в области гермоузла ТВЭЛа для реактора ВВЭР. Результаты расчёта в Marc



Модель таблетки ядерного топлива, разрушившейся в процессе эксплуатации, и оболочки ТВЭЛа

Российские и зарубежные предприятия активно используют Marc и другие системы MSC Software при разработке несущих конструкций ядерных реакторов, выполняя анализ прочности, динамических нагрузок, теплопередачи, анализ динамики механических систем и др. Техническая поддержка, внедрение и демонстрация работы системы Marc в России и других странах СНГ осуществляются Московским офисом корпорации MSC Software. Для студентов и аспирантов доступна бесплатная ограниченная версия системы Marc, для университетов – наборы лицензий полнофункциональной системы Marc на очень выгодных условиях.

За дополнительной информацией обращайтесь, пожалуйста, в Московский офис MSC Software: <http://www.mscsoftware.ru.marketing.russia@mscsoftware.com>, +7 (495) 363-06-83.

Вероятность падения самолета на АЭС при наличии преимущественного азимута подлета

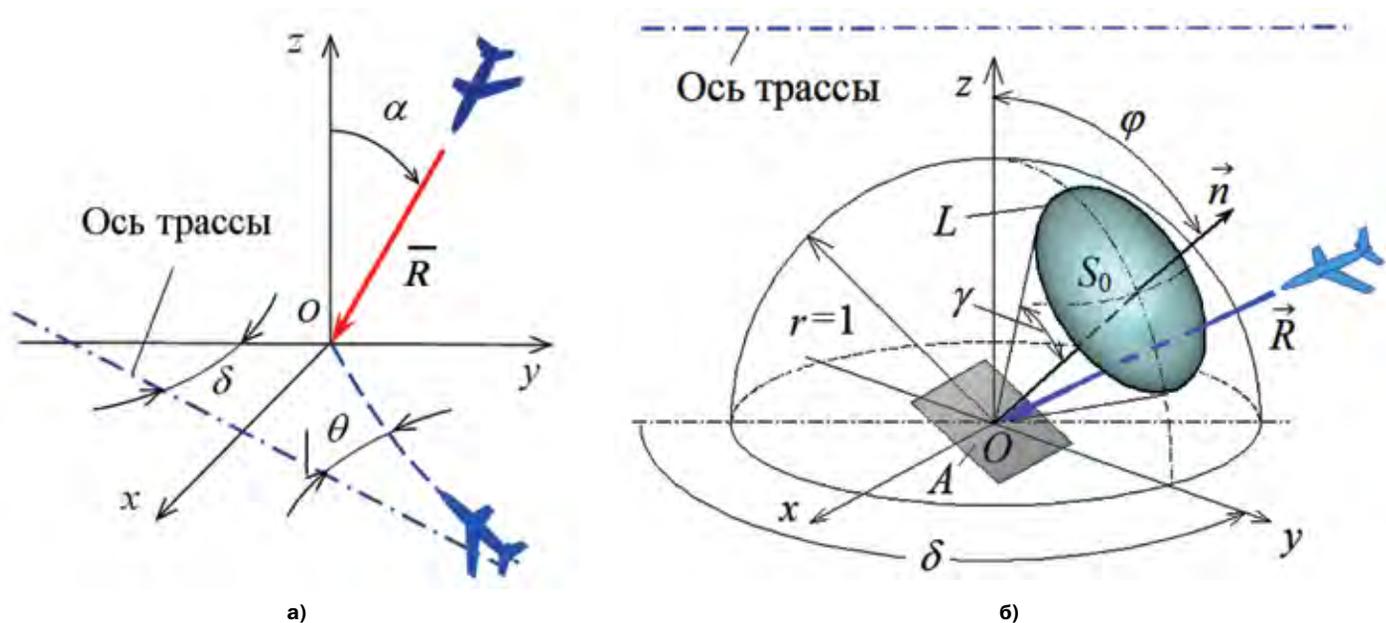


Рис. 1. а – направление траектории самолета, б – положение площадки по отношению к трассе полета

Н.А. Чернуха
АО «АТОМПРОЕКТ»

В соответствии с требованиями МАГАТЭ [1, 2], российскими [3-5] и зарубежными [6-7] нормативными документами при проектировании атомной электростанции (АЭС) обязательно должна учитываться возможность удара падающего самолета. При этом падение самолета рассматривают только для сооружений, ответственных за ядерную и радиационную безопасность. Вероятность удара в такие сооружения зависит не только от их площади в плане, но и от высоты, формы и расположения, а также от угла наклона траектории падающего самолета. В статье «Вероятность угла наклона траектории падающего самолета и повторяемость падений» [8] автором опубликовано исследование вероятности угла наклона траектории падающего самолета, найдены плотность и интегральный закон распределения его вероятности. При вычислении вероятности удара самолета в АЭС необходимо знать эквивалентную площадь сооружений, методика определения которой при равновероятном азимуте подлета самолета предложена автором в статье [9]. В настоящей работе рассматривается сценарий, когда приближение самолета к АЭС возможно с некоторого преимущественного направления.

Вероятность удара в элементарную наклонную площадку

При наличии преимущественного азимута подлета траектория падающего на АЭС самолета задается двумя углами: углом α с вертикалью и углом θ в горизонтальной плоскости между траекторией и трассой полета (см. рис. 1,а).

Плотность вероятности $p_\alpha(\alpha)$ и интегральный закон $P_\alpha(\alpha)$ угла наклона траектории падающего самолета к вертикали найдены по результатам анализа статистики авиационных происшествий [8]:

$$p_\alpha(\alpha) = 0.244\alpha + 10.651e^{15.245(\alpha-\pi/2)} \quad ; \quad (1)$$

$$P_\alpha(\alpha) = 0.122\alpha^2 + 0.699e^{15.245(\alpha-\pi/2)} \quad . \quad (2)$$

Распределение угла θ отклонения траектории падающего самолета от оси трассы полета подчиняется закону Релея и имеет следующие плотность $f_\theta(\theta)$ и интегральный закон распределения вероятности $F_\theta(\theta)$:

$$f_\theta(\theta) = 51.54\theta \cdot e^{-25.77\theta^2} \quad (3)$$

$$F_\theta(\theta) = 1 - e^{-25.77\theta^2} \quad (4)$$

Углы α и θ являются случайными независимыми величинами, поэтому их совместная плотность вероятности равна произведению плотностей вероятности углов.

В статье [10] автором найден интегральный закон вероятности удара в наклонную площадку, который соответствует следующему случайному событию: «В площадку А с нормалью n , наклоненной на угол φ к вертикали, нанесен удар под углом к нормали, не превосходящим γ » (см. рис. 1,б). Проекция нормали на горизонтальную плоскость xOy

лежит на оси y и повернута по отношению к оси трассы полетов на угол δ . Искомая вероятность представляет собой условный интегральный закон вероятности угла γ при заданных значениях углов φ и δ и может быть записан в следующем виде:

$$\Omega(\gamma | \varphi, \delta) = \begin{cases} 0 \\ \Omega_1(\gamma | \varphi) + \Omega_2(\varphi, \delta)H(\gamma - \pi/2) \\ 1 \end{cases} \quad (5)$$

при $-\infty < \gamma \leq 0$;
при $0 < \gamma \leq \pi/2$;
при $\pi/2 < \gamma \leq +\infty$,

где $H(\gamma - \pi/2)$ функция Хэвисайда,

$$\Omega_2(\varphi, \delta) = 1 - \Omega_1(\gamma = \pi/2 | \varphi, \delta) \quad (6)$$

Численные значения интегрального закона $\Omega(\gamma | \varphi, \delta)$ приведены в [10].

Вероятность удара самолета в АЭС, расположенную вблизи трассы полетов

Сооружения, ответственные за ядерную и радиационную безопасность и для которых необходим учет падения самолета, обычно сгруппированы в ядерном острове АЭС. Удар самолета может прийти не только в горизонтальные, но и вертикальные ограждающие конструкции АЭС. Вероятность удара самолета в конструкцию зависит не только от частоты падений, но и от угла наклона траектории самолета, а также от ее габаритов, формы и ориентации в пространстве. Поэтому при определении вероятности удара вычисляют эквивалентные площади конструкций, которые зависят от названных факторов. Эквивалентная площадь ядерного острова равна сумме эквивалентных площадей его ограждающих конструкций, открытых для удара. Расчет эквивалентных площадей конструкций наиболее характерных для АЭС форм при различных углах удара к нормали приведен в [10].

Вероятность падения самолета на АЭС может быть вычислена по формуле [11, 12]:

$$P_{\text{пад}} = CNA_3 \cdot 0.5ke^{-kl} \quad (7)$$

где C – количество авиационных происшествий на 1 милю полета, N – число полетов по трассе в год, k – коэффициент, учитывающий тип авиации, l – расстояние от конструкции до оси трассы.

При комплексной оценке вероятности падения самолета на АЭС должны быть рассмотрены все источники авиационной опасности [1]. Для принятия решения о необходимости учета этого исходного события в проектных основах АЭС вероятности падений по всем причинам должны суммироваться. Полученную вероятность необходимо сравнивать с уровнем отбора событий по вероятности УОВ. В России УОВ равен 10^{-6} 1/год [3], для реактора – 10^{-7} 1/год [5].

Таким образом, вероятность удара самолета в сооружения АЭС пропорциональна эквивалентной площади их ограждающих конструкций, открытых для удара. В работе приведена методика анализа вероятности падения самолета на АЭС при наличии преимущественного азимута полета. Такой сценарий авиационной катастрофы возможен при размещении АЭС вблизи трасс полетов, что особенно актуально для регионов с интенсивным воздушным движением (например, в Европе). Предложенная в [9, 10] методика позволяет комплексно оценить

вероятность падения самолета на АЭС в случаях аварийного и преднамеренного крушений самолетов транспортной авиации и авиации общего назначения при равновероятном и наличии преимущественного направления полета.

Список литературы

- External Human-Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants: IAEA Safety Standards Series (NS-G-3.1). Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002. 57 p.
- External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plant: IAEA Safety Standards Series (NS-G-1.5). Vienna: International Atomic Energy Agency, 2003. 115 p.
- Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии: Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии (НП-064-05). М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2005. 62 с.
- Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа: Правила и нормы в атомной энергетике (ПиН АЭ-5.6). М.: Минэнерго СССР, 1986. 22 с.
- Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии (НП-001-15). М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2016. 56 с.
- Правила проектирования и строительства строительных конструкций ядерного острова с реактором типа REP (с водой под давлением): RCC G / Электрисите де Франс. – Июль 1988.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission Standard Revue Plan. NUREG-0800 (Revision 2). July 1987.
- Бирбраер А.Н., Лалин В.В., Чернуха Н.А. Вероятность угла наклона траектории падающего самолета и повторяемость падений / Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. №6. С. 27-31.
- Бирбраер А.Н., Лалин В.В., Чернуха Н.А. Вероятность случайного и преднамеренного падения самолета на ответственные за безопасность сооружения АЭС / Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. №2. С. 17-24.
- Чернуха Н.А. Вероятность падения самолета на АЭС, расположенную вблизи трассы полетов / Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. №3.
- Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А.Н. Бирбраер, А.Ю. Роleder. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.
- Kobayashi, T. Probability Analysis of an Aircraft Crash to a Nuclear Power Plant // Nuclear Engineering and Design. 1988. No.110. pp. 207-211.

Верификация и аттестация программных средств систем контроля течи энергоблоков АЭС с РУ РБМК 1000

**Е.Л. Матвеев, А.Л. Матвеев,
Д.Ю. Цапцын, Б.С. Андреев
АО «НИКИЭТ»**

Требование к оснащению энергоблоков АЭС средствами обнаружения течи отражено в следующих нормативных документах: НП-001-15, НП-082-07, НП-089-15. Системы контроля течей должны обеспечивать передачу информации о появлении течи, а также аварийного сигнала на блочный пульт управления реактором в случае обнаружения течи выше предела, установленного по проектной чувствительности СКТ, после которого РУ должна в штатном режиме нормальной эксплуатации переводиться в режим расхолаживания и останова. Этот подход основан на том, что для определённых условий эксплуатации и типов металла мгновенному катастрофическому разрушению предшествует устойчивый докритический медленный рост дефектов с появлением течи. Данное обстоятельство положено в основу концепции «течь перед разрушением» применительно к трубопроводам АЭУ, в которой сформулированы основные требования к системам контроля течи трубопроводов на АЭС:

С целью приведения условий эксплуатации энергоблоков в соответствие с современными требованиями нормативных документов для АЭС с РБМК-1000 была разработана и внедрена автоматизированная система контроля течи теплоносителя – АСОТТ.

Учёт конструктивных особенностей энергоблоков с РУ РБМК-1000 позволил выбрать для АСОТТ оптимальные с точки зрения эффективности контроля и технической реализации методы контроля течей: контроль аэрозольной активности, влажности, температуры и звукового давления. В настоящее время на энергоблоках АЭС с РУ РБМК 1000 работают 11 комплектов системы АСОТТ в режиме промышленной или опытно-промышленной эксплуатации.

Постановка задачи для выполнения работ по верификации ПС

В соответствии со сложившейся в отрасли производственной практикой для проведения работ по проверке заявленных к аттестации ПС необходимо провести процедуру верификации и обоснования применения представленных к аттестации ПС [1], [2].

В результате выполнения процедуры должны быть выработаны материалы, подтверждающие корректность выбранных физических моделей стационарного состояния и динамики параметров окружающей среды при появлении течи оборудования. На выбранных моделях строятся проектные алгоритмы контроля течи.

Если модели имеют слабую взаимосвязь с реальными физическими процессами при появлении течи оборудования, то результат работы ПС по расчёту параметров течи оборудования не будет соответствовать функциональному назначению ПС АСОТТ. Если же выбранные модели удовлетворительно описывают реальные физические процессы при появлении течи оборудования, то, соответственно, и представленное к аттестации ПС АСОТТ (где эти модели реализованы) даёт приемлемый результат по оценке расхода течи.

Первый вариант подхода к верификации ПС АСОТТ

В первом варианте верификации использовалось эталонное ПС для оценки суммарной погрешности модели/алгоритма/качества реализации кода.

В качестве эталонного ПС для оценки суммарной погрешности модели/алгоритма/качества реализации кода выбрано ПС COCOSYS Vers. 2.4, разработанный немецким обществом по безопасности реакторных установок. Контейнерный код COCOSYS создан в Германии как средство моделирования теплогидравлических процессов и процессов переноса радиоактивных веществ, которые могут иметь место при проектных и тяжёлых авариях на атомных станциях с легководными реакторами. Согласно рекомендациям МАГАТЭ [3], код COCOSYS может быть использован для анализа экспериментов, связанных с тяжёлыми авариями, и может быть использован в качестве эталонного для сличения с ним более простых кодов. В силу конструктивных отличий АЭС с РБМК-1000 и физических условий работы реакторной установки, была проведена адаптация кода COCOSYS для использования при оценке безопасности АЭС с РБМК 1000 [4].

Экспертами ФБУ «НТЦ ЯРБ» был проведён анализ и оценка материалов, обосновывающих применение ПС АСОТТ на энергоблоках №1, 2, 4 Курской АЭС. Главным замечанием экспертов явилось недостаточное количество экспериментальных результатов по течам на объекте контроля. Эксперты рекомендовали использовать в качестве подтверждающего материала данные, связанные как с проведением натурных экспериментов по организации контролируемой течи теплоносителя, так и с фактическими случаями течей на других энергоблоках АЭС с РУ РБМК 1000.

Второй вариант подхода к верификации ПС АСОТТ

После получения замечаний от экспертов ФБУ «НТЦ ЯРБ» на верификационный отчёт, обосновывающий применение ПС АСОТТ, был

проведён комплекс работ по доработке верификационного отчёта. В верификационный отчёт был включён дополнительный материал, касающийся экспериментальных данных, связанных как с проведением натурных экспериментов по организации контролируемой течи теплоносителя, так и с фактическими случаями течей трубопроводов и оборудования на АЭС с РУ РБМК 1000.

Так, в отчёт были включены данные натурных экспериментов с организацией контролируемой течи теплоносителя из оборудования КМПЦ посредством стенда-имитатора течи. С помощью стенда имитировалось образование течи КМПЦ с расходами 90, 120, 240 кг/час посредством проливки через дроссель с соответствующим диаметром отверстия. Также были проанализированы 18 фактических течей оборудования КМПЦ на всех энергоблоках АЭС с РУ РБМК 1000 за период эксплуатации 2005-2016 гг.

В ходе анализа экспериментальных данных была подтверждена эффективность ПС АСОТТ в целом и его части, касающейся корректировки показаний в зависимости от климатических изменений в атмосфере воздуха в районе промплощадки АЭС. В результате на этот отдельный алгоритмический набор действий был оформлен патент на изобретение (номер патента 2609140 от 26.01.2016) и представлен в качестве дополнительного материала на экспертизу ПС АСОТТ. На скорректированный верификационный отчет получено положительное заключение от экспертов ФГУ «НТЦ ЯРБ».

Список литературы

1. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, РД-03-34-2000 «Требования к содержанию отчёта о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии», 2000.
2. Ростехнадзор, РД-03-33-2008 «Инструкция об организации проведения экспертизы программных средств применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии», 2008.
3. Серия норм МАГАТЭ по безопасности №SSG-4 «Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций. Специальное руководство по безопасности», Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2014.
4. ОАО «НИКИЭТ». Инв. № 274-001-6727. Отчёт «Адаптация кода COCOSYS для анализа аварий на АЭС с РБМК», 2006.

Испытания российских машин серии BLOK на платформе Intel 7-го поколения успешно завершены

Специалисты «РТСофт» успешно завершили процесс валидации новейших мобильных встраиваемых компьютерных платформ компании Intel 7-го поколения с кодовым наименованием *Kaby Lake* для собственной программы выпуска безвентиляторных промышленных компьютеров BLOK Industrial (ЛКЖТ.466259.012ТУ 01) и BLOK Rugged (ЛКЖТ.466259.023ТУ 01).

АО «РТСофт»

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

Успех валидации позволяет команде «РТСофт» и ее партнерам вывести на рынок ультрасовременное инженерное решение с опережением или в полном соответствии с темпами развития мировой компьютерной индустрии в примерно аналогичных классах промышленного и специального компьютерного оборудования для энергетики, транспорта, промышленности и специальных приложений.

В качестве целевых платформ валидации использовались топовые версии Core i7-7820EQ с чипсетом QM175 и Xeon E3 1505M v6 с графикой P630 и чипсетом CM238.

Машины BLOK успешно прошли все стадии функционального и краш-тестирования в рамках Windows и Linux, подтвердив полное соответствие требованиям конструкторской документации.

По словам директора по развитию бизнеса «РТСофт» Александра Ковалева, «валидация мобильных платформ *Kaby Lake* для линеек BLOK – это необходимый и естественный процесс поддержки конкурентоспособности собственных продуктов в контексте роста

производительности, ценовой и энергоэффективности, функциональности и длительности жизненного цикла, а также уверенности наших клиентов в разумности инвестиций в классные отечественные платформы серий BLOK».

Седьмое поколение мобильных Intel Core и Xeon позволяет сохранить и частично улучшить все основные конкурентные преимущества машин серии BLOK, в том числе для задач кибербезопасности.

Архитектура машин серии BLOK построена на модульной модернизируемой платформе COM Express Type 6 (PICMG COM.0) на базе встраиваемых (embedded) микропроцессоров Intel Core и Xeon 4–7-го поколений. Она позволяет гарантировать актуальность свойств и использовать все лучшие мировые инструментальные средства разработки для реализации важнейших инженерных и бизнес-концепций в IT-индустрии для различных рынков: IoT, IIoT, Fog Computing, Cloud Computing, Industrial Revolution 4.0 и др.

Критично повышает конкурентоспособность машин возможность использовать наиболее актуальные технологии в разработке продвинутых гетерогенных и графических приложений: OpenCL 2.1, MS C++ AMP, DirectX 12, OpenGL 5.0 и др.

Благодаря открытой и стандартной архитектуре гарантируется великолепная совместимость с самым современным системным

ПО класса Linux, Windows, ОСРВ и гипервизорами. Компьютеры серии BLOK способны функционировать в стандартном (-10...+50°C) и расширенном (-40...+70 °C) температурных диапазонах.

Машины обеспечены высоким уровнем сертификационной и лицензионной поддержки. Имеют сертификаты ГОСТ Р и Таможенного союза, СТ-1 ТПП вместе с сертификатами и лицензиями АО «РТСофт»: Т V ISO 9001-2008, ФСТЭК, Ростехнадзора, Минпромторга на разработку ВВТ и др.

По требованию партнеров изделия обеспечиваются большим числом удобных поддерживаемых сервисов: инженерной кастомизации аппаратного и программного обеспечения, СИиСП, а также отраслевыми аккредитациями и сертификациями. Предметом сервисов могут быть UEFI/BIOS, подсистемы ввода/вывода, готовые BSP в целевые операционные системы, протокольные стеки, системы встроенного тестирования и т. п.

Машины BLOK на базе 7-го поколения процессоров Intel доступны для заказа и бесплатного тест-драйва с длительной фирменной гарантией: 3, 4 или 5 лет.

Дополнительную информацию о компьютерах серии BLOK можно получить на обновленном сайте <http://blok.rtssoft.ru/> или в офисах компании «РТСофт».



Методика получения экспериментальных данных низкотемпературного выхода ГПД из перспективных видов ядерного топлива в обоснование модельного представления «ХОЛОДНОГО» ВЫХОДА

Е.В. Шабельников, В.Ю. Лукьяненко, К.Н. Коцеев, И.Л. Бельтюков, А.В. Козлов
АО «Институт реакторных материалов»

Неотъемлемой частью обоснования безопасности ядерной установки, основывающейся на использовании перспективных видов ядерного топлива, является проведение реакторных испытаний образцов данного топлива с исследованием скорости выхода газообразных продуктов деления (ГПД) – изотопов Хе, Кр, при различных температурах (рис.1) [1].

На рисунке 1 видны характерные области для низко- и высокотемпературного выхода ГПД, описываемые уравнением Аррениуса. В области низких температур преобладают процессы «прямой отдачи» и «нокаут», где:

- «прямая отдача» – выход ГПД сразу после акта деления из поверхностного слоя глубиной, равной среднему пробегу осколков в данном материале топлива. Аналог ядра отдачи. Для UO₂ от 9 до 16 мкм;
- «нокаут» – испарение ГПД, находящегося в приповерхностном слое, при попадании в трек движения другого осколка. (Температу-

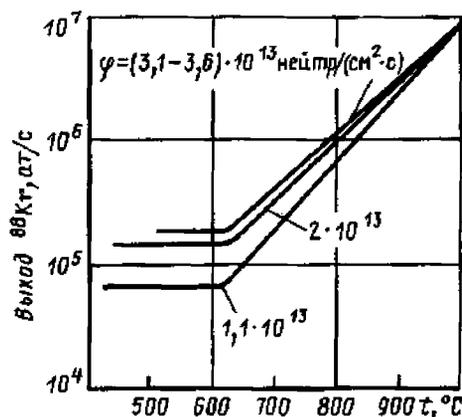


Рис. 1. Зависимость установившегося выхода 88Kr из UO₂ от температуры при разных плотностях потоков нейтронов.

ра в области трека пролёта осколка может достигать 10.000 °C).

Скорость выхода ГПД в области низких температур не зависит от температуры T, а зависит от площади S открытой поверхности зёрен топливного образца и материала топлива (длины пробега осколка). После перегиба на кривой Аррениуса (в области высоких тем-

ператур) активируется термическая диффузия в самих зернах, в результате чего R/V резко возрастает.

С использованием экспериментальной базы АО «Институт реакторных материалов» был проведен ряд экспериментов, посвященных определению характеристик «холодного» выхода ГПД, в ходе которых необходимый диапазон температур ядерного топлива (100 – 700 °C) достигался тремя способами [2]:

- 1) обеспечение энерговыделения в активной зоне (АЗ) ИЯР ИВВ-2М в зависимости от нейтронного потока;
- 2) позиционирование топливных образцов по высоте АЗ при помощи механизма перемещения капсулы с образцами;
- 3) варьирование состава газовой среды (He, Ne, Ar) в теплорегулирующих газовых зазорах.

На рисунке 2 показано изменение максимальной температуры топлива (центральная термопара) при замене в газовых зазорах инертного газа Ne на He. В результате большего коэффициента теплопроводности гелия температура образца снизилась примерно на 100°C.

После изменения температуры топлива и выдержки его в течение нескольких часов при заданной температуре начинается процесс пробоотбора смеси газа-носителя и инертных радиоактивных газов для измерения состава и активности газовой смеси с использованием гамма-спектрометрического комплекса. Более подробно данная методика описана в работах [2, 3].

Обработка гамма-спектров проводится с помощью калибровки по эффективности, рассчитанной с помощью компьютерной программы ISOCS v4.2 из состава программного обеспечения Genie-2000 v3.1 фирмы Canberra Inc. (США), позволяющей учитывать свойства используемого коаксиального особо чистого германиевого гамма-детектора, ослабление потока фотонов в материалах трубопровода и свинцовой защиты с учетом реальной геометрии измерений. Измеренная активность основных контролируемых ГПД приведена в таблице 4.1. Погрешность измерения активности не превышает ±10% (при P=0,95).

Относительная скорость выхода i-го ГПД из топлива (безразмерная величина) определяется по формуле:

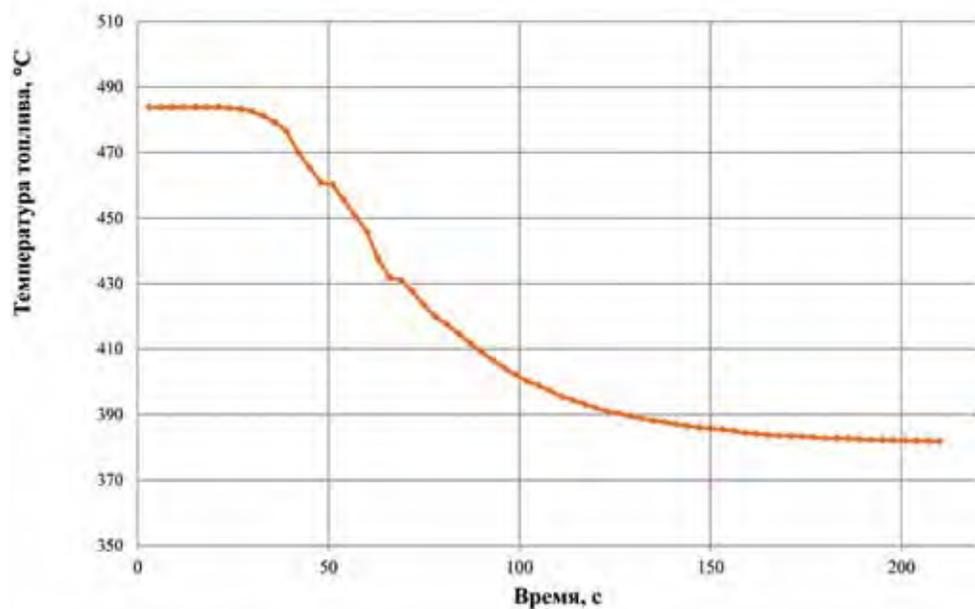


Рис. 2. Изменение температуры топлива T при замене газовой среды Ne на He

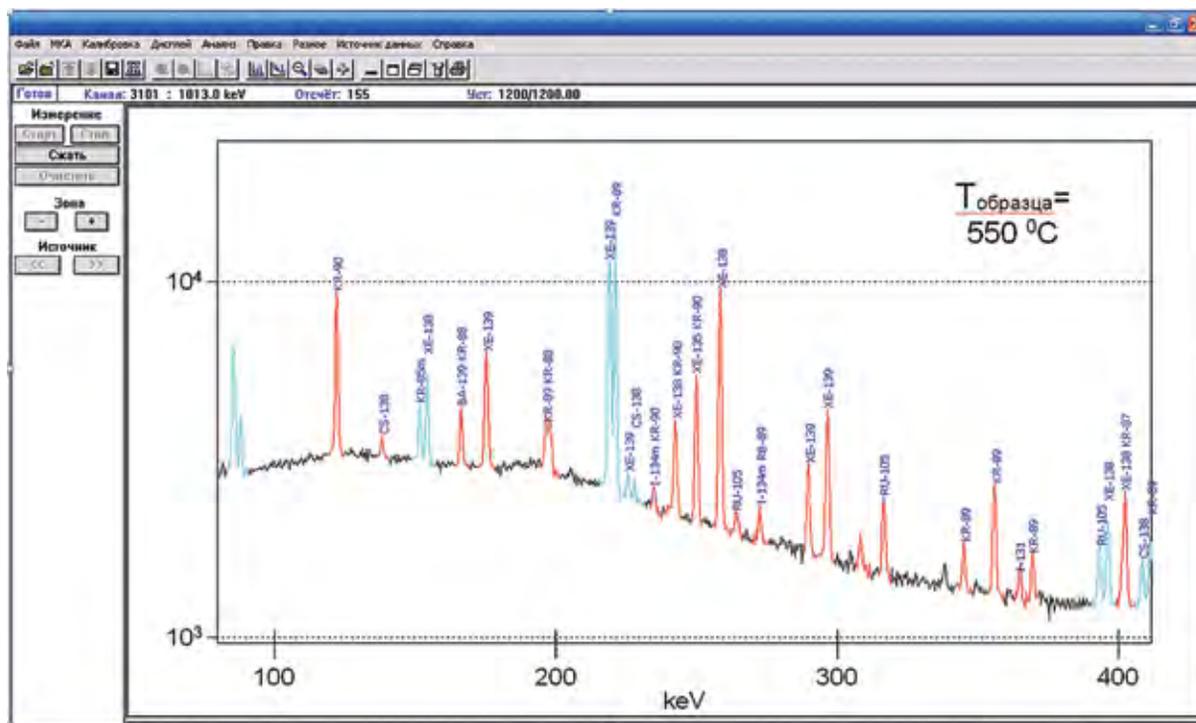


Рис. 3. Гамма спектр от измерительного участка трубопровода

$$(R/B) = \frac{A \cdot G \cdot \exp(+\lambda \cdot (V_{mp}/G))}{\lambda \cdot V_{np} \cdot [3,1 \cdot 10^{10} \cdot W_{HФ} \cdot Y]}$$

где R – скорость выхода i-го ГПД из топлива, атом/с;
 В – скорость наработки i-го ГПД в топливе, атом/с;
 А – измеренная активность i-го ГПД в измерительном участке трубопровода, Бк;
 G – объемный расход продувочного газа, см³/с; G = 3,0 см³/с;
 λ – постоянная распада i-го ГПД, с⁻¹;
 V_{тр} – объем трубопровода от ампулы до измерительного участка трубопровода, см³: V_{тр} = 250 см³;
 V_{np} – объем измерительного участка трубопровода, см³: V_{np} = 5,0 см³;
 3,1•10¹⁰ – скорость делений для производства 1 Вт энергии, дел/(с•Вт);

W_{HФ} – расчетное энерговыделение в топливном образце, Вт: W_{HФ} = 26,8 Вт;
 Y – кумулятивный выход i-го ГПД при делении U-235, атом/дел:
 Y = 0,0129 атом/дел. для Kr-85m (с периодом полураспада 4,48 час);
 Y = 0,0256 атом/дел. для Kr-87 (1,27 час);
 Y = 0,0355 атом/дел. для Kr-88 (2,84 час);
 Y = 0,0451 атом/дел. для Kr-89 (3,15 мин);
 Y = 0,0654 атом/дел. для Xe-135 (9,10 час);
 Y = 0,0613 атом/дел. для Xe-137 (3,82 мин);
 Y = 0,0630 атом/дел. для Xe-138 (14,1 мин).
 Теоретический «холодный» выход из топливного образца по механизму ядер отдачи (recoil) по модели Мюллера [4]:
 $(R/B)_{rec} = 0,25 \cdot (V_{rec}/V_T)$,
 где V_{rec} – объем зоны отдачи, см³;
 V_T – объем топлива, см³.
 В случае цилиндрического топливного столба с центральным отверстием:
 $(R/B)_{rec} = 0,25 \cdot (V_{rec}/V_T) = 0,25 \cdot [(D_T^2 - D_0^2) \cdot H] - [(D_T - 2h)^2 - (D_0 +$

2h)²] · (H - 2h) / [(D_T² - D₀²) · H] = 0,25 · {1 - [(D_T - 2h)² - (D₀ + 2h)²] / (D_T² - D₀²)} · (H - 2h) / H},
 где D_T – наружный диаметр топливной таблетки: D_T = 0,60 см;
 D₀ – диаметр центрального отверстия топливной таблетки: D₀ = 0,20 см;
 H – высота топливного столба: H = 3,50 см;
 d – толщина приповерхностного слоя «отдачи», см.
 Результаты расчета (R/B)_{rec} приведены на рисунке 4.
 Таким образом, экспериментальные исследования на базе АО «ИРМ», проводимые в рамках обоснования безопасности проектов ядерных установок с использованием перспективного ядерного топлива, проводятся согласно разработанной вышеописанной методике, результаты которой подтверждаются многолетним опытом расчетных исследований, а также показывают высокую сходимость с теоретическими данными, в частности, в области низких температур – «холодный» выход.

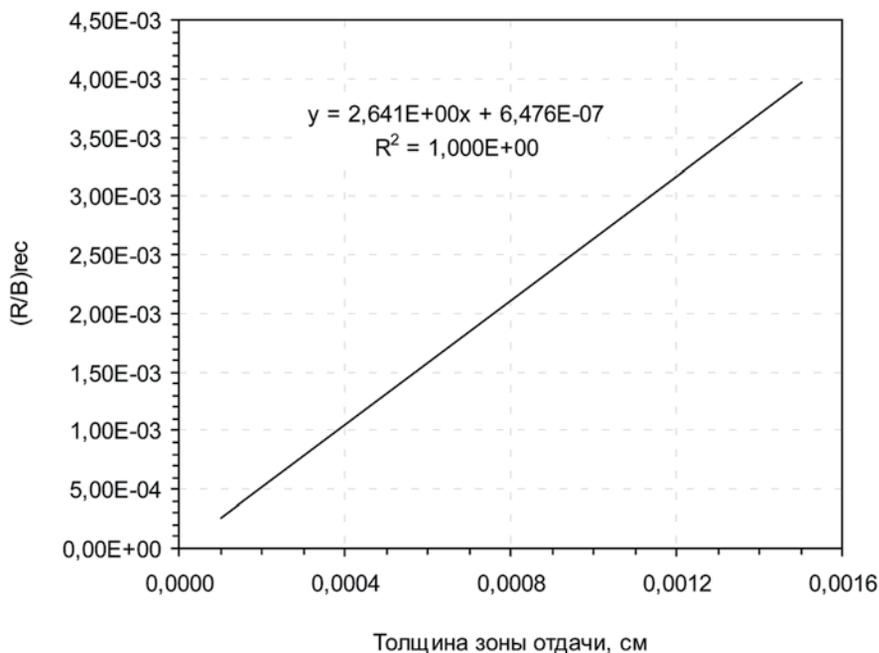


Рис. 4. Теоретический «холодный» выход по механизму отдачи (recoil)

Список литературы

1. Дегальцев Ю.Г., Пономарев-Степной Н.Н., Кузнецов В.Ф. Поведение высокотемпературного ядерного топлива при облучении / Ю.Г. Дегальцев, Н.Н. Пономарев-Степной, В.Ф. Кузнецов – Москва: Энергоатомиздат. – 1987. – 208 с.
2. Кошечев К.Н., Бельтюков И.Л., Шабельников Е.В. Методика исследования поведения газообразных продуктов деления в топливных композициях как один из ключевых инструментов по обоснованию безопасности ядерно-энергетических установок / К.Н. Кошечев, И.Л. Бельтюков, Е.В. Шабельников // Атомный проект. – 2016. – № 25. – С. 42-44.
3. Шабельников Е.В. и др. Экспериментальное определение относительной скорости выхода газообразных продуктов деления из образцов карбонитридного топлива / Е.В. Шабельников [и др.] // Инновации в атомной энергетике. Сборник докладов конференции. – 2017. – С. 889 – 893.
4. Müller A. Freisetzung gas förmiger Spaltprodukte (Kr, Xe, I) ans Brenelementen für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren. Jülich-1295, 1976.

Разработка программного обеспечения стенда проверки модулей связи с процессом КСА ТПТС-НТ

Н.И. Савин
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

С появлением новой аппаратуры возникает необходимость в её проверке. Не стал исключением и комплекс средств автоматизации (КСА) ТПТС-НТ. В связи с этим для настройки и проверки модулей связи с процессом (СП-модулей) данной системы был разработан программно-аппаратный комплекс стенд К54.1006.

Стенд К54.1006 – это набор программно-аппаратных средств, обеспечивающих настройку и проверку работоспособности СП-модулей КСА ТПТС-НТ.

Он состоит из персонального компьютера (ПК), с установленным на нём программным обеспечением, коммутатора, калибратора, генератора сигналов, мультиметра и крейта стенда проверки, в котором находятся проверяемые СП-модули и интерфейсные модули (ИМ), через которые ПК обращается к СП-модулям. Связь между ПК и крейтом осуществляется по шине ENL; между ПК, средствами измерения и коммутатором – по шине GPIB с помощью преобразователя интерфейсов USB/GPIB; между средствами измерения, коммутатором и крейтом – с помощью проводов подключения средств измерения. Общая схема стенда представлена на рисунке 1.

Программное обеспечение (ПО) стенда К54.1006 для настройки и проверки работоспособности СП-модулей КСА ТПТС-НТ (далее в тексте стенд проверки) состоит из совокупности программных подсистем. Каждая подсистема представляет блоки программного кода, связанные между собой для реализации одной конкретной задачи. Каждая подсистема реализуется в виде отдельного программного модуля (библиотека классов/функций или отдельный файл исходного кода). Данная структура позволяет выделить и использовать общие программные части для всех СП-модулей.

Подсистемы ПО представлены на рисунке 2. Стрелками обозначены зависимости одной подсистемы от другой.

Взаимодействие указанных подсистем обеспечивает выполнение программы, которое в общем виде можно представить в виде блок-схемы, показанной на рисунке 3.

Сценарий выполнения программы определяется набором этапов проверки, каждый из которых определяет объем и порядок выполнения операций для проверки или настройки одного или нескольких конкретных функциональных узлов проверяемых модулей. В общем можно выделить следующие этапы проверки:

1) настройка аналоговых выходов;

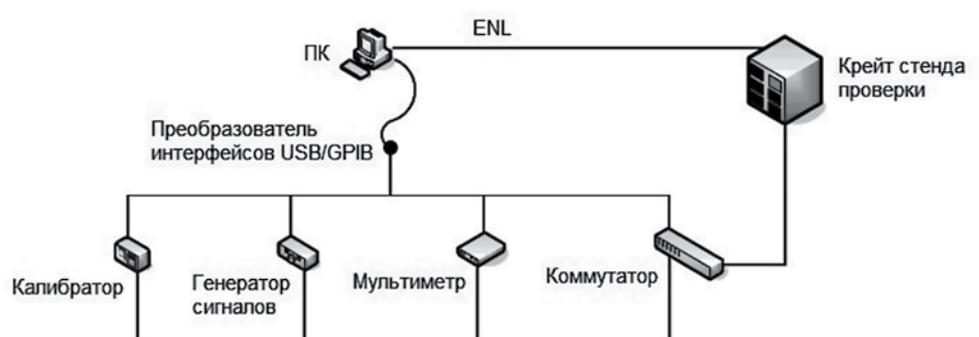


Рис. 1. Общая схема стенда К54.1006



Рис. 2. Структура программного обеспечения стенда проверки

2) настройка аналоговых выходов;
3) проверка аналоговых входов;
4) проверка аналоговых выходов;
5) проверка дискретных входов;
6) проверка дискретных выходов;
7) контроль диагностических сигналов, реализованных в модуле.

Данные этапы могут выполняться при различных значениях следующих параметров:

1) Температура:

- +25°C;
- +55°C;
- +40°C;
- +1°C;

– +25°C и относительная влажность 95±3%.

2) Напряжение питания:

- +19В;
- +24В;
- +30В.

3) Методика проверки:

- И16 (проверка работоспособности модуля после изготовления);
- ПСИ (проверка модуля на соответствие требованиям ТУ);
- ПИ (проверка качества технологии производства модуля).

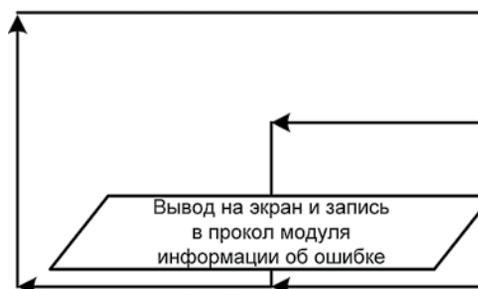
Набор доступных параметров и этапов за-

висит от типа модуля. Внутри каждого этапа решаются задачи, связанные с особенностью конкретных функциональных узлов проверяемых модулей. В общем виде можно выделить восемь решаемых внутри этапов задач:

- 1) параметрирование модуля на выдачу/приём сигнала;
- 2) настройка канала модуля;
- 3) настройка средств измерения;
- 4) коммутация средств измерения и канала модуля;
- 5) чтение результатов измерения из модуля/мультиметра;
- 6) обработка и контроль результатов измерения;
- 7) вывод информации о проверке на экран/в протокол;
- 8) расчёт и запись коэффициентов.

Пользовательский интерфейс представлен на рисунке 4 на примере измерительного модуля ввода аналоговых сигналов ТПТС55.1662.

В настоящее время разработанное ПО используется в стенде проверки К54.1006 для автоматизированной проверки СП-модулей КСА ТПТС-НТ, а отдельные подсистемы применяются в программно-аппаратных комплексах стенд К54.1215 и стенд К54.1217 для авто-



матизированной проверки СП-модулей КСА ТПТС-СБ, однако данная программа или её отдельные элементы могут быть использованы и для выполнения других задач:

- проверка СП-модулей КСА ТПТС-НТ на объекте автоматизации;
- проверка СП-модулей КСА ТПТС-СБ при серийном производстве;
- проверка СП-модулей КСА ТПТС-СБ на объекте автоматизации.

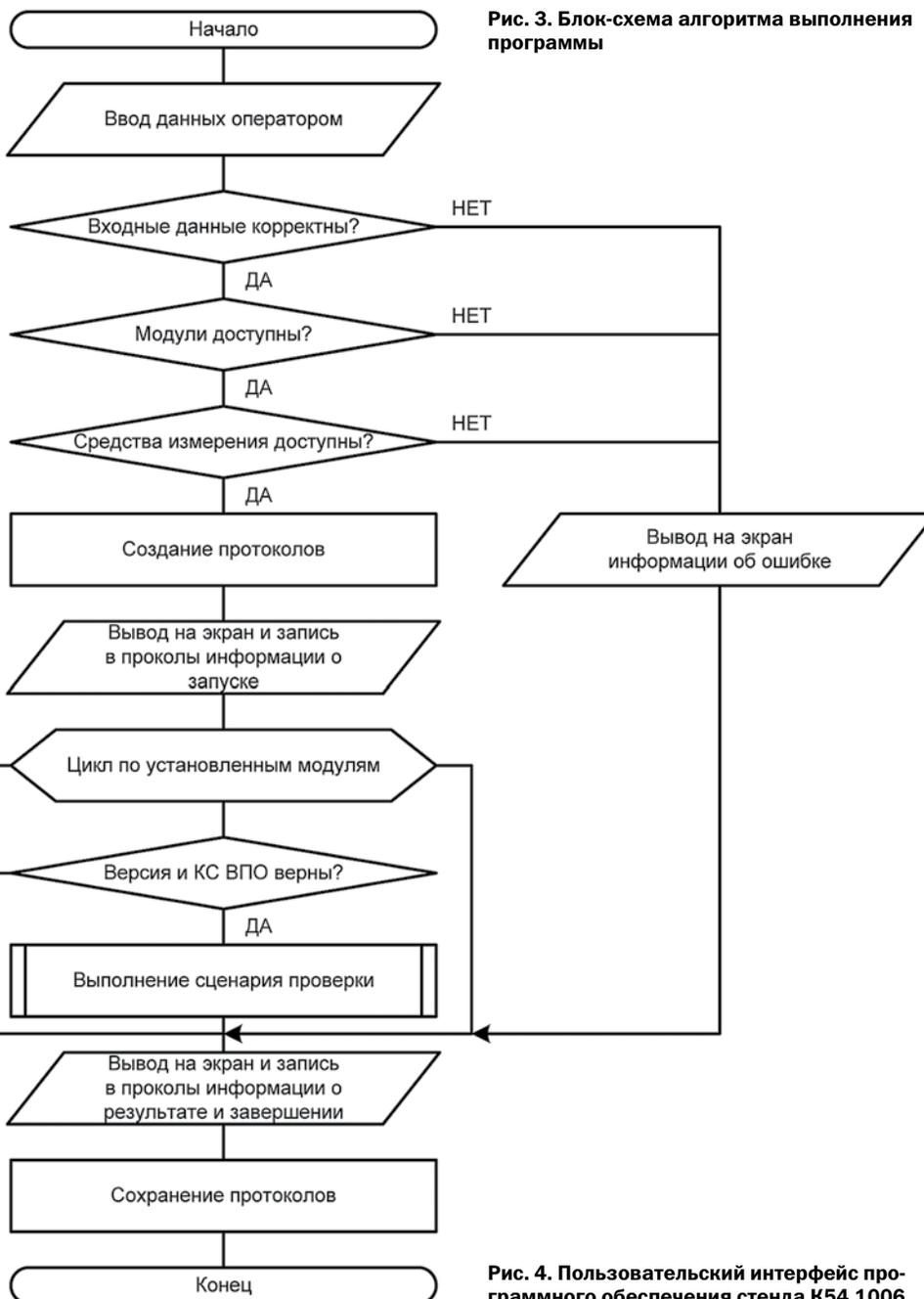
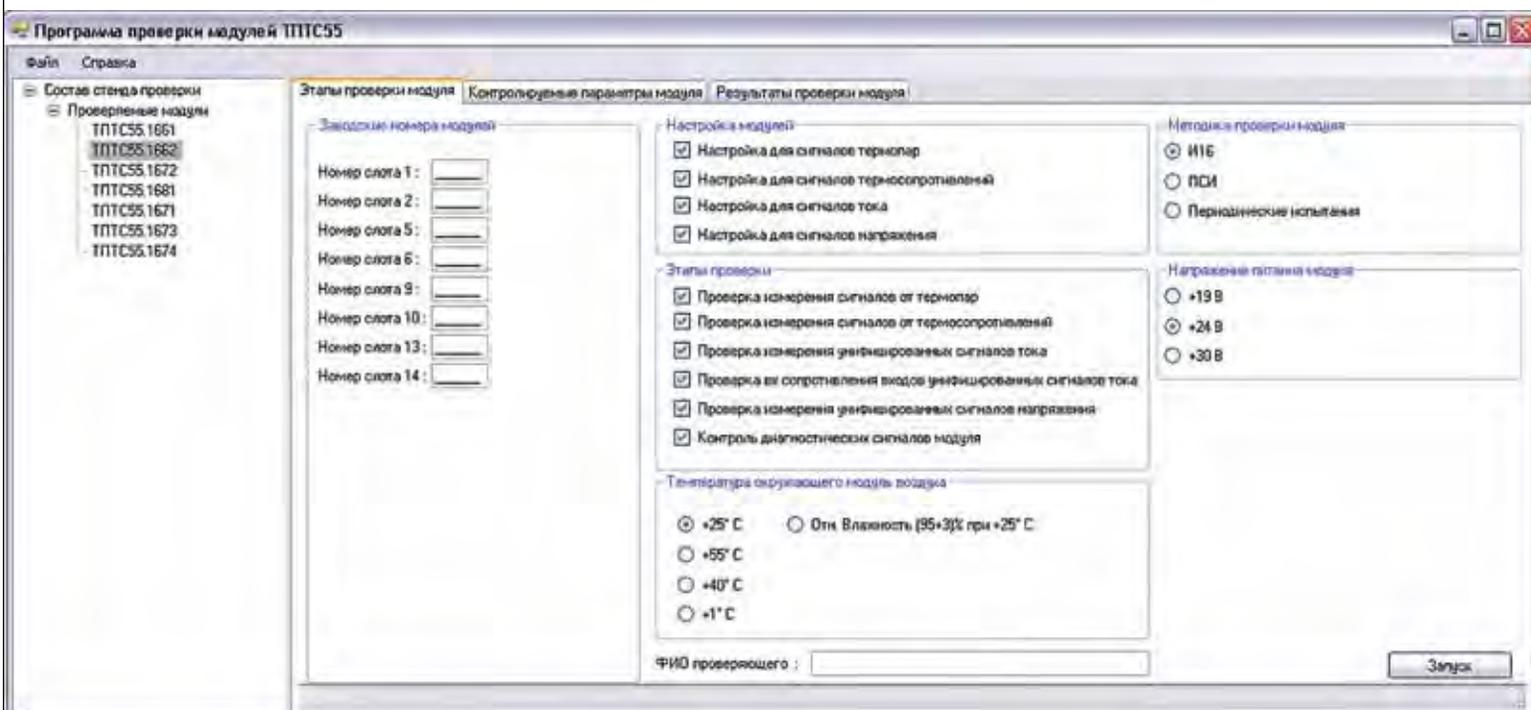


Рис. 3. Блок-схема алгоритма выполнения программы

Рис. 4. Пользовательский интерфейс программного обеспечения стенда К54.1006 для измерительного модуля ТПТС55.1662.



АСУ системы вакуумной откачки токамака Т-15МД

И.С. Образцов, М.М. Соколов
Национальный исследовательский
центр «Курчатовский институт»

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» модернизируется экспериментальный термоядерный реактор токамак Т-15МД, предназначенный для

проведения исследований в области управляемого синтеза, в том числе, в поддержку проекта ИТЭР [1].

Одним из главных условий протекания управляемого термоядерного синтеза в установках данного типа является достижение и поддержание устойчивого вакуума в разряд-

ной камере токамака. В термоядерном реакторе Т-15МД данную функцию выполняет система вакуумной откачки (СВО), работа которой должна проходить в автоматическом режиме с обратной связью от датчиков давления. Для решения данной задачи была разработана автоматизированная система управления (АСУ СВО), входящая в состав информаци-

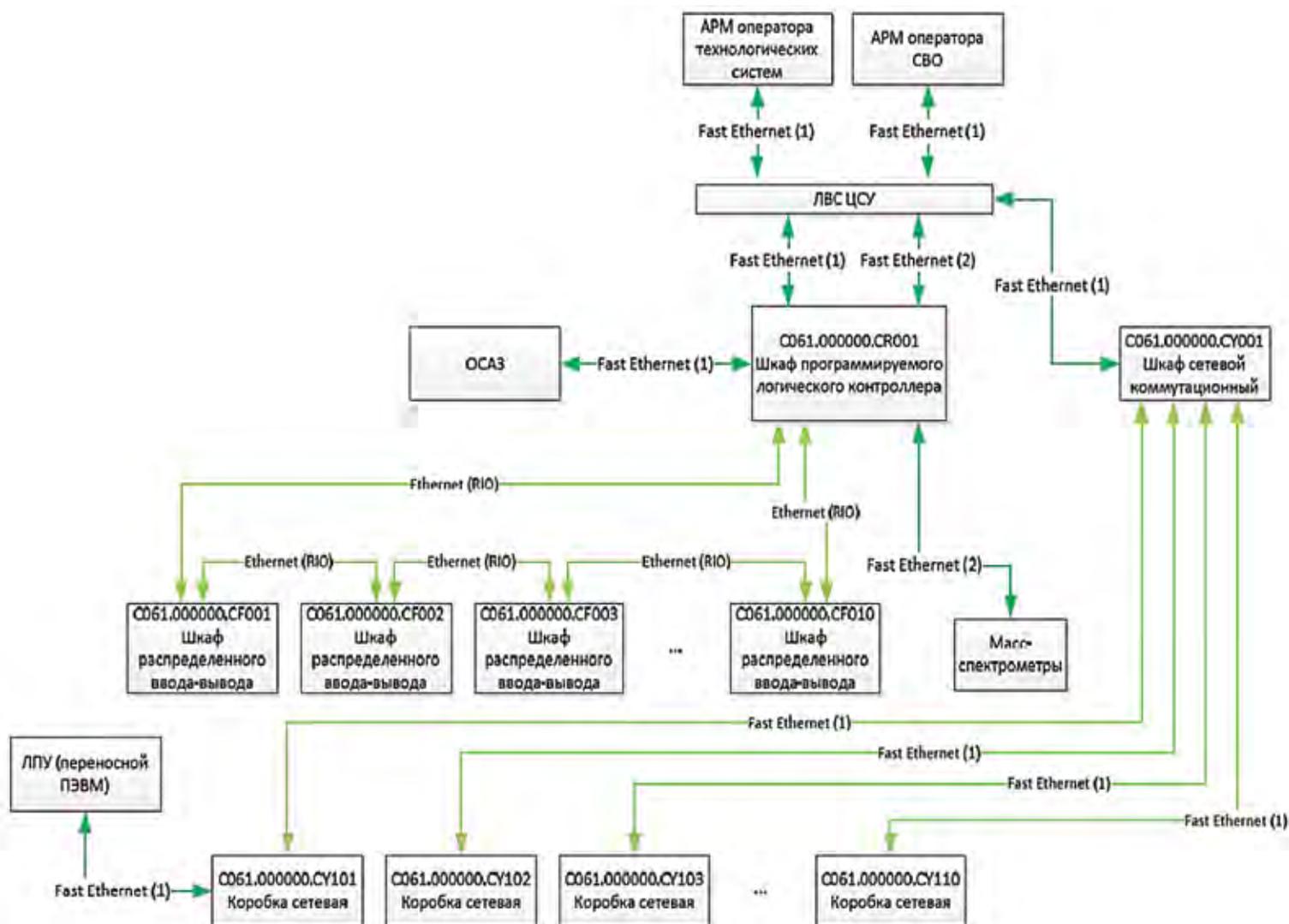


Рис. 1. Функциональная структура АСУ СВО

онно управляющей системы (ИУС) токамака Т-15МД [2].

Получение вакуумных рабочих давлений в объектах установки Т-15МД производится в два этапа:

- предварительная откачка до давления ~10 Па;
- высоковакуумная (турбомолекулярная) откачка до давления $5 \cdot 10^{-4}$ Па.

Для автоматизации данных технологических процессов спроектирован комплекс программно-технических средств АСУ СВО, имеющий разветвленную структуру с распределенным вводом-выводом и централизованной обработкой сигналов. Функциональная структура АСУ СВО показана на рисунке 1.

Технологическое оборудование СВО состоит из 16 вакуумных ячеек 4 типов, каждая из которых выполняет конкретные этапы вакуумной откачки из определенного объема. Согласно расположению данных ячеек для минимизации количества и длин кабельных трасс была разработана схема расстановки шкафов распределенного ввода-вывода (ШРВВ) в количестве 10 единиц.

ШРВВ обеспечивают: сбор сигналов с исполнительных механизмов и датчиков по физическим линиям связи; выдачу управляющих сигналов, сформированных в системе, на исполнительные механизмы технологического оборудования СВО; сбор информации с масс-спектрометров по интерфейсу RS-232.

Сигнальные линии внутри ШРВВ в зависимости от их типа подключены к модулям: ввода аналоговых сигналов, ввода дискретных сигналов, вывода дискретных сигналов серии Modicon Quantum компании Schneider Electric. Аналоговые сигналы от датчиков давления ОТ-1 WKA, низкого вакуума VSP62MV и высокого вакуума VSM72MW Thyracont Vacuum

Instruments оцифровываются 16-битным модулем ввода аналоговых сигналов 140AVI03000 Schneider Electric.

ШРВВ осуществляют связь между собой и шкафом программируемого логического контроллера (ПЛК) при помощи процессоров сети Ethernet RIO 140CRP31200 Schneider Electric. Данные от модулей ввода поступают на процессорный модуль Modicon Quantum 140CPU67160, в котором исполняется программа управления процессом вакуумной откачки.

Для повышения отказоустойчивости в шкафе ПЛК установлено два процессорных модуля, поддерживающих горячее резервирование и топологию «daisy chain loop». В случае обрыва кабеля или выхода из строя одного из устройств удаленного ввода-вывода время восстановления работоспособности всей системы составляет менее 50 мс.

По протоколу Modbus TCP через сеть Fast Ethernet шкаф ПЛК обеспечивает: информационное взаимодействие с центральной системой управления (ЦСУ), программно-техническим комплексом общесистемной противоаварийной защиты (ОСАЗ), локальным пультом управления (ЛПУ); организует сеть Ethernet для информационного обмена АРМ ТС и АРМ СВО с гамма масс-спектрометрами.

Исполняемая программа ПЛК реализована в среде Unity Pro XL v7.0, на языке программирования ST [3]. Человеко-машинные интерфейсы АСУ СВО и связь с верхним уровнем ИУС реализованы средствами Wonderware InTouch.

АСУ СВО выполняет следующие группы функций:

- информационные
- управляющие
- вспомогательные.

Система взаимодействует с вышестоящими (центральная система управления) и смежными (общая система противоаварийных защит) автоматизированными системами управления; построена на базе современных программируемых логических контроллеров серии Modicon Quantum фирмы Schneider Electric; использует эффективные человеко-машинные интерфейсы и средства визуализации информации Wonderware InTouch.

Физический пуск токамака Т-15МД запланирован на 2019 г., подготовка ИУС Т-15МД к физическому пуску осуществляется системным интегратором АО «РТСофт». Работа выполнена при поддержке Госкорпорации РОСАТОМ (Контракт № Н.4х.241.9Б.17.1011).

Список литературы

1. P.P. Khvostenko, I.O. Anashkin, V.A. Belyakov and others. // Status of Tokamak T-15MD. 26th IAEA Fusion Energy Conference (CN-234), FIP/P7-40.
2. Ю.Я. Моцкин, М.М. Соколов, П.П. Хвостенко. // Информационно-управляющая система экспериментальной термоядерной установки «Токамак Т-15». Мир компьютерной автоматизации: встраиваемые компьютерные системы, 2015, №03.
3. И.С. Образцов. // Разработка программы для управления вакуумными ячейками системы вакуумной откачки экспериментальной термоядерной установки «токамак Т-15». НИЯУ «МИФИ» выпускная квалификационная работа специалиста (14.05.04 «Электроника и автоматика физических установок»), Москва 2017 г.

Проблемы ввода в эксплуатацию АСУ ТП энергоблока №6 НВАЭС

А.В. Крутских, Д.А. Денисов
Нововоронежская АЭС

За время строительных, монтажных, пусконаладочных работ персоналу ЦТАИ Нововоронежской АЭС довелось столкнуться с рядом сложностей при настройке, обслуживании и вводе в эксплуатацию оборудования АСУ ТП энергоблока №6 Нововоронежской АЭС. В данном материале речь пойдет о проблемах ввода в эксплуатацию АСУ ТП и о возможных путях их решения.

1. Одной из главных проблем обслуживания системы верхнего блочного уровня является невозможность выполнения изменения конфигурации программного обеспечения без вывода оборудования СВБУ из работы. Обновление РБД СВБУ выполняется с выводом серверов и АРМ операторов-технологов из работы. Необходимость добавления, а в некоторых случаях и изменения одного сигнала любой подсистемы (например, в СКУ В) приводит к необходимости вывода из работы всей СВБУ (т. е. в СВБУ пропадает и СКУ В, и СКУ РО, СКУ ТО, УСБТ, СВРК и все остальные подсистемы АСУ ТП). При этом мероприятия по обновлению РБД СВБУ могут занимать до 11 часов, что весьма немало с точки зрения ведения технологического процесса.

Одним из путей решения данной проблемы является аппаратная кластеризация СВБУ, однако, в контексте трудоемкости обслуживания, сложности конфигурирования и стоимости создания данный путь не кажется привлекательным. С другой стороны, добавление разработчиком СВБУ функции обновления конфигурации процессов СВБУ «в фоне» решило бы данную проблему в рамках существующих аппаратных средств (в т. ч. необходимость внесения изменений в скриптовые сценарии расчетов термоконтроля турбогенератора, системы представления параметров безопасности, необходимость «перечтения» конфигурационных файлов процессов ПО СВБУ и др.).

Кроме того, все основные технические средства СВБУ дублируются и работают в горячем резерве, что предоставляет потенциальную возможность конфигурирования и применения изменений на резервном обо-

рудовании с последующей сменой мастерства без потери целостности базы данных. Данный подход также требует доработки ПО СВБУ.

2. Зависимость эксплуатирующей организации от разработчика СВБУ в части генерации конфигурационных данных:

- файлов лицензий на ПО СВБУ. Переданные разработчиком СВБУ лицензии на прикладное программное обеспечение привязаны к аппаратным адресам сетевых интерфейсов оборудования (MAC-адресам), однако, аппаратная часть СВБУ (в том числе ЗИП) неизбежно придёт в неработоспособное состояние за гораздо меньший, чем срок жизни энергоблока (60 лет), срок;

- конфигурационных файлов подсистемы передачи данных (ППД). В случаях изменения характеристик обмена данными для какой-либо подсистемы АСУ ТП (изменения установленных лимитов по количеству получаемых/передаваемых аналоговых/бинарных/дискретных сигналов, темпу их передачи, абонентам передачи, установленным фильтрам и др.), в случае добавления новой подсистемы СВБУ (т. е. не представляется возможным горизонтальное масштабирование системы).

3. Отсутствует гибкость системы в части масштабирования. Масштабируемость в данном контексте означает возможность добавлять к системе новые узлы, серверы, процессоры для увеличения общей производительности. Например, существует проблема неудовлетворительной скорости доступа к архиву, при этом отсутствует возможность увеличения количества серверов, параллельно выполняющих функцию поиска и выборки архивной информации. К тому же, отсутствие распараллеливания обслуживания клиентских запросов может приводить в таких нежелательных ситуациях: в случае формирования с одного из АРМ архивного запроса за продолжительный период времени (более 30 суток) происходит блокировка доступа к архивным данным для остальных АРМ (в рамках одного информационного контура) до окончания обработки данного архивного запроса.

4. Наличие большого количества несоответствий и ошибок в исходных версиях ППО СВБУ, установленных к моменту начала этапа ПНР. При этом каждое очередное обновление версии ППО СВБУ помимо проверки устранен-

ных в этой версии замечаний должно завершаться проверкой всего остального функционала на предмет неоявления дополнительных замечаний и ошибок, что невозможно в условиях проведения наладки, испытаний и ввода энергоблока в эксплуатацию.

5. Одной из важнейших задач АСУ ТП является самодиагностика. С одной стороны, отсутствие достаточного объема диагностических сигналов для большинства подсистем АСУ ТП является очевидным недостатком, приводящим к невозможности оперативной оценки состояния ПТК. С другой стороны, большой объем диагностических сигналов оборудования на базе ТПТС также тяжело поддается оперативному анализу.

Наполнение приборной стойки ТПТС может содержать до 52 модулей и до двух коммуникационных модулей (ЦМ-Е). На каждый модуль ТПТС в среднем приходится 47 сигналов диагностики. Кроме того, для каждого абонента EN-шины собирается обобщенная диагностика в количестве 28 бинарных и дискретных сигналов (суммарно 60 значащих бит информации). Итого на каждый абонент EN-шины в среднем приходится более 1600 значащих бит диагностической информации. Существует вероятность возникновения отклонений в работе EN-шины (в т. ч. «широковещательного шторма») или абонентов, приводящих к возникновению «информационной лавины» из-за большого количества диагностических сообщений, что усложняет возможность оперативной оценки состояния ПТК и установления исходного события.

Предложенный разработчиком АСУ ТП способ отображения диагностики оборудования ТПТС показал себя крайне неэффективным, т. к. иерархически представляет весь объем диагностической информации. Т. е. пиктограмма абонента EN-шины сигнализирует об отклонении в работе одинаково в случае появления сигнала «Отказ шины EN» в коммуникационном модуле и при появлении сигнала «Аппаратная неисправность канала» (т. е., при отказе датчика, не являющегося частью нижней автоматики).

Реализовано разделение всего объема диагностической информации ТПТС на несколько «слоев»: диагностика EN-шины, распределение имитаций по абонентам, диагностика аппарат-

ных неисправностей подключения датчиков и исполнительных механизмов к приборным стойкам низовой автоматики (которые не являются признаком неработоспособности низовой автоматики).

Предложения:

- усовершенствовать штатную систему диагностики, дополнив ее системой диагностики сетевого оборудования по протоколу SNMP, используя свободную систему мониторинга и отслеживания Zabbix, что позволит оценить нагрузку на различные сегменты и узлы EN-шины; внедрить систему анализа сетевого трафика на базе программы-анализатора трафика для компьютерных сетей Ethernet Wireshark;

- включить и конфигурировать аппаратные возможности сетевого оборудования EN-шины по недопущению возникновения сбоев (в т. ч. «информационных петель» и «широковещательных штормов»);

- реализовать динамические апертуры в низовой автоматике и в СВУ.

■ 6. Долгое время репликации рабочей базы данных в сеть рабочих станций СВБУ. Согласно требованиям частного технического задания перезапуск АРМ должен осуществляться за не превышающее 20 минут время.

Возможные пути решения проблемы:

- подбор оптимальных характеристик репликатора РБД под конкретные аппаратные средства;

- «умная» репликация: пакеты репликации представляют собой целостные данные, которые можно сразу предоставлять оператору-технологу;

- сжатие сетевого трафика (сопряжено с увеличением загрузки процессора ТС СВБУ).

7. Для обеспечения информацией инженерно-технического и административного персонала цехов и подразделений АЭС, кризисного центра РЭА проектом АСУ ТП предусмотрен сервер передачи данных с установленным ПО Citrix. Данный сервер способен обслуживать до 10 пользователей ЛВС одновременно (в силу ограниченных возможностей технических средств УПД).

К недостаткам стандартного подхода к организации доступа является:

- отсутствие механизма приоритетного принципа подключения (т. е. пользователь с максимальным приоритетом должен иметь возможность открытия сессии Citrix, даже если все 10 сессий заняты путем отключения активной сессии с наименьшим приоритетом);

- как следствие отсутствия приоритетного принципа подключения – необходимость ввода ограничений на время жизни сессии (в нашем случае – 1 час);

- необходимость индивидуальной настройки подключения каждого пользователя, что ввиду географической протяженности промышленной площадки НВАЭС не всегда возможно выполнить оперативно;

- невозможность автоматического подбора оптимальных графических настроек для различных ПК ЛВС;

- отсутствие возможности не передавать пользователям пароль от серверной учетной записи (пусть и ограниченной на уровне операционной системы), т. к. клиентский ICA-файл представляет собой обычный текстовый файл;

- отсутствие возможности централизованного оперативного конфигурирования логики предоставления доступа, а также обновления ICA-файлов клиентов (например, в случае смены пароля серверной учетной записи).

Предложения:

- разработка клиент-серверного приложения для динамического выделения Citrix-сессий.

Алгоритм работы:

- администратор СВБУ запускает серверную часть приложения (сервер) на УПД;

- сервер считывает текущую конфигурацию приоритетного доступа пользователей (периодически, раз в 1 минуту, перечитывает конфигурацию);

- сервер создает асинхронный сокет для получения запросов от клиентов и их обслуживания, подключает серверную dll-библиотеку Citrix для взаимодействия с фермой Citrix;

- сервер инициализирует подключение к локальной базе данных, очищает всю информацию о текущих подключениях, ожидает подключения пользователей;

- пользователь запускает клиентскую часть приложения (клиент) на персональном компьютере из состава ЛВС АЭС;

- клиент подключает клиентскую dll-библиотеку Citrix для возможности создания Citrix-сессий;

- клиент собирает информацию, идентифицирующую пользователя (имя пользователя, имя компьютера, IP-адрес компьютера, версия клиента Citrix), и отправляет её на сервер;

- сервер проверяет возможность подключения данного пользователя к какой-либо системе верхнего уровня (СВБУ ЭБ №6, СВБУ ЭБ №7, СВСУ) в условиях текущей загрузки, отправляет информацию о возможности подключения к СВУ клиенту;

- клиент отображает пользователю список возможных на данный момент подключений;

- пользователь выбирает одно из подключений, при этом происходит повторный запрос на разрешение подключения к СВУ; в случае успеха сервер заносит информацию о подключении в локальную базу данных, передает клиенту данные для подключения (имя приложения, имя пользователя, пароль);

- клиент инициализирует Citrix-сессию, предварительно сформировав оптимальные графические характеристики подключения (качество изображения, глубину цвета, размер окна с учетом разрешения экрана и пропорций видеоканалов СВУ);

- клиент разрывает Citrix-сессию либо по инициативе пользователя, либо по запросу сервера (в случае необходимости подключения более приоритетного пользователя или наличия ограничений по времени на подключение к данной СВУ для данного пользователя).

Недостатки подхода: необходимость разработки дополнительного клиент-серверного программного обеспечения.

Преимущества подхода:

- отсутствие недостатков исходного принципа построения передачи технологической информации в ЛВС АЭС;

- единая инструкция по подключению для всех пользователей ЛВС АЭС;

- потенциальная возможность подключения неограниченного количества пользователей ЛВС.

8. Незрелые средства верификации и валидации вносимых изменений в ПО АСУ ТП. Например, имеет место случай при генерации РБД СВБУ установки зоны нечувствительности для подсистемы СКУ ЭЧ в значение по умолчанию (равное 0,6% от диапазона измерения величины) из-за опечатки заводом-изготовителем подсистемы в названии колонки [hist_deadband] импортного файла. При этом, например, для сигнала «Активная мощность генератора» была установлена зона нечувствительности в 9,6 МВт. При стационарном технологическом процессе данную проблему идентифицировать крайне непросто.

9. Сложно прогнозируемые на этапе проектирования и внедрения аппаратные отказы технических средств, оказывающие влияние на смежные подсистемы. Например:

- отказ резервного шлюза ПТК СВРК, повлекший за собой отказ резервной сети шлюзов СВБУ (с сохранением функций СВБУ, но с потерей резервирования);

- отказ системы 3-го класса СВБУ (отказ основной и резервной сети шлюзов) из-за единичного отказа в системе 4-го класса ЭКП (аппаратный отказ сетевого интерфейса сервера ЭКП).

10. Отсутствие встроенных средств автоматического поиска шумящих сигналов, которые в свою очередь могут быть первопричиной отклонений в работе низовой автоматики.

Решение: разработка клиентского приложения для стандартного сервиса выгрузки данных из СВБУ в режиме TCP-сервера (PortalTCPGate) для выполнения произвольного анализа технологических и диагностических данных. Данный подход позволяет в онлайн-режиме получать и анализировать данные из базы данных СВБУ, при этом исключено оказание какого-либо влияния на систему.

Практика показывает, что именно персонал, непосредственно занимающийся обслуживанием оборудования АСУ ТП, максимально заинтересован в его правильной и стабильной работе. Поэтому на этапе ввода в эксплуатацию ремонтный персонал должен максимально подробно изучить принципы построения и функционирования оборудования АСУ ТП с целью формирования предложений по модернизации и возможного самостоятельного доведения функционала систем до требуемого уровня.

Особенности построения программного обеспечения системы автоматического управления оптической диагностики

В.Д. Исаев, С.В. Евсеев
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Данный материал посвящен особенностям построения и разработки программного обеспечения системы автоматического управления оптической диагностики (САУ ОД), входящей в состав информационно-управляющей системы (ИУС). Система оптической диагностики предназначена для сбора данных о параметрах нескольких оптических каналов в ходе подготовки и проведения экспериментов с диагностического оборудования (камер и другого регистрирующего оборудования различных типов), обработки и последующей передачи полученных данных на верхний уровень управления. Для этого оптический сигнал должен быть с большой точностью направлен через систему разнесенных в пространстве управляемых зеркал на регистрирующее оборудование. Удаленное управление приводами зеркал должно осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме. В автоматическом режиме САУ ОД без участия оператора проводит сбор данных с камер, проверяет наличие пятен от излучателя, находит центр наиболее подходящего пятна и на основе данных об оптической схеме подает команды на сдвиг привода зеркал. Также САУ ОД осуществляет управление питанием подключенного технологического оборудования, его диагностику и настройку.

Состав ПО САУ ОД

Программное обеспечение САУ ОД выполняет следующие основные функции:

- приём команд управления от ИУС по интерфейсу интеграционной платформы (ИП);
- передача данных (в том числе изображений с камер) в ИУС;
- формирование перечня команд и атрибутов ИП по заданному списку подключенного технологического оборудования;
- выполнение алгоритмов управления по полученной команде в ручном или автоматическом режимах;
- проверка допустимости выполнения ко-

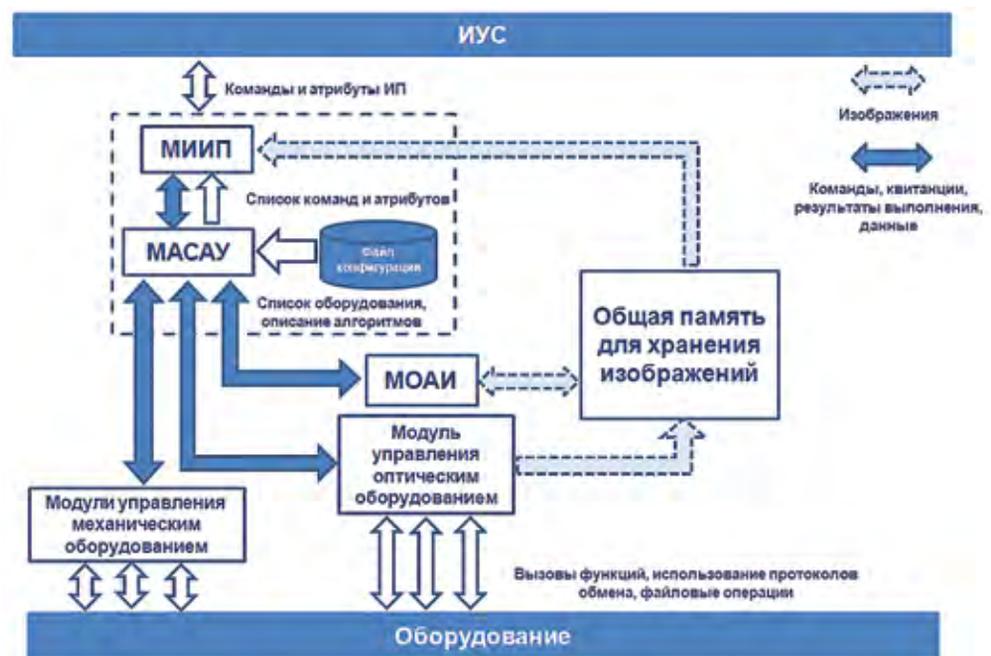


Рис. 1. Схема взаимодействия ПО САУ ОД

манд управления в зависимости от текущего состояния системы;

- выдача команд управления на технологическое оборудование и контроль их выполнения;
- осуществление непрерывной диагностики состояния подключенного технологического оборудования и самодиагностики САУ;
- сбор данных с подключенного технологического оборудования, как по команде, так и в цикле непрерывного опроса;
- обработка, анализ и редактирование полученных изображений.

ПО САУ ОД построено по модульному принципу и состоит из отдельных независимо выполняющихся программ различного назначения, взаимодействующих с внешними системами и между собой. По назначению модули можно разделить на три типа: модули интерфейса верхнего уровня (модуль интерфейса интеграционной платформы – МИИП), внутренние модули САУ (модуль алгоритмов САУ – МАСАУ и модуль обработки и анализа

изображений – МОАИ) и различные модули взаимодействия с технологическим оборудованием. Общее количество программных модулей зависит от числа оптических каналов и состава подключенного технологического оборудования. Схема взаимодействия модулей и их состав приведены на рис. 1.

Программные модули САУ ОД взаимодействуют друг с другом при помощи отправки сообщений через TCP-сокеты, содержащие команды, результаты их выполнения и данные в виде текста. На каждую принятую команду отправляется две квитанции – одна после проверки корректности команды, вторая – непосредственно перед выполнением. После выполнения команды отправляется ответ «успешно» или «ошибка» при отсутствии возможности принять, выполнить команду или при возникновении ошибки в ходе выполнения и превышении времени ожидания. Для реализации совместного доступа к чтению и записи массивов данных (изображений) используются области разделяемой памяти.

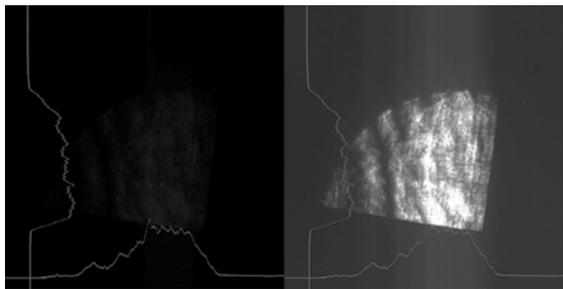


Рис. 2. Пример коррекции яркости

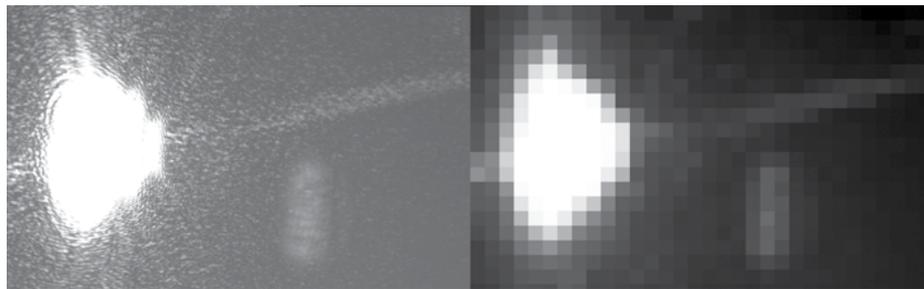


Рис. 3. Визуализация перехода от исходного изображения к массиву относительной яркости областей

Библиотека типового модуля

После обобщения требований к отдельным программным модулям, была разработана библиотека типового модуля, реализующая следующий функционал, необходимый для большинства модулей:

- работа с TCP-сокетами как в режиме клиента, так и в режиме сервера;
- безопасный совместный доступ к общей памяти;
- организация очередей выполнения команд;
- стандартизированный отладочный вывод;
- вспомогательные функции для работы со строками.

Библиотека типового модуля выполнена в виде подключаемой статической библиотеки, предназначенной для использования в программах, написанных на языке C/C++. Основной целью при создании библиотеки было упростить выполнение типовых операций программным модулем. Большая часть выполняемых операций: создание и использование отдельных потоков для получения сообщений и для выполнения команд, обработка новых подключений и ошибок при операциях чтения или записи, выполнение команд и контроль состояния их выполнения происходит в скрытом от клиентской программы режиме. При этом сама обработка полученной информации и реализация выполняемых команд происходит исключительно в клиентской части программы при помощи механизма обратных вызовов функции (callback) и хранения контекста выполняемых команд в виде указателей на определённые в клиентской части структуры.

Модуль интерфейса интеграционной платформы

Модуль интерфейса интеграционной платформы предназначен для предоставления ИУС интерфейса ИП для управления САУ ОД. Интеграционная платформа – это распределённая система управления, использующая клиент-серверную модель взаимодействия. Сервер представляет собой какое-либо устройство, реальное или логическое, предоставляющее неограниченному числу клиентов возможность управления устройством. Для этого ИП предоставляет следующие средства:

- выполнение команд, с возможностью передачи одного входного аргумента и с возможностью возвращения значения;
- чтение и запись значений в атрибуты;
- изменение свойств устройства.

Каждый сервер устройства САУ ОД состоит из одного экземпляра класса, полностью представляющего один оптический канал системы в ИП. Интерфейс класса сервера устройства САУ ОД состоит из команд и атрибутов, представляющих оборудование одного оптического канала, и логических команд и атрибутов САУ. Каждая единица оборудования представлена несколькими атрибутами, предназначенными

для отображения её текущего состояния, собранных данных, логических флагов и настроек, а также командами для вызова алгоритмов управления устройством в ручном режиме. Помимо этого сервер устройства содержит в себе логические атрибуты, отображающие состояние всей системы в целом:

- состояние оптического канала САУ;
- состояние процесса юстировки;
- режим работы – ручной, автоматический, пассивный, активный;
- флаги готовности;
- команды для вызова алгоритмов включения, отключения, юстировки, проведения эксперимента на канале в автоматическом режиме.

Перечень атрибутов с указанием типа, разрешений и текущих значений, перечень команд, с указанием типов входных и выходных данных, а также команды управления самим модулем передаются от модуля алгоритмов САУ в виде последовательности текстовых команд.

Модуль алгоритмов САУ

Основные функции, выполняемые модулем алгоритмов САУ, следующие:

- чтение и разбор алгоритмов САУ из текстовых конфигурационных файлов;
- генерация интерфейса САУ;
- выполнение алгоритмов САУ по команде верхнего уровня;
- проверка допустимости выполнения команд управления;
- выдача команд программным модулям САУ в соответствии с алгоритмом;
- контроль выполнения команд управления.

Особенностью САУ ОД является описание логики работы САУ в текстовом конфигурационном файле. Это позволяет облегчить поддержку различных по списку команд и составу оборудования, но схожих по функционалу и логике работы различных подсистем САУ ОД. Также такой подход позволяет гибко настраивать САУ без внесения изменений в исходный код, что значительно упрощает изменение или добавление команд и атрибутов для САУ в целом или для отдельных типов технологического оборудования. Для описания интерфейса и алгоритмов САУ были разработаны правила семантики, позволяющие описывать в конфигурационном файле:

- перечень программных модулей САУ;
- список оборудования;
- перечень и значения констант;
- определение типов оборудования;
- определение функций и команд;
- алгоритмы САУ.

Алгоритмы САУ записываются в конфигурационном файле в виде последовательности операторов, выполняющих логические проверки и установку значений атрибутов, отправку команд другим модулям САУ и обработку полученного ответа, вызовы других алгоритмов.

Модуль обработки и анализа изображений (МОАИ)

МОАИ предназначен для проведения анализа и обработки изображений, полученных с камер различных типов. Основные функции модуля следующие:

- чтение изображений из общей памяти;
- коррекция яркости изображения;
- анализ изображения на предмет наличия сигнала;
- поиск центра масс наиболее подходящего пятна;
- вывод вспомогательной информации на изображение;
- запись изображений в общую память.

Реализация алгоритмов обработки и анализа изображения проводилась непосредственно средствами языка, без использования сторонних библиотек (таких, как OpenCV). Такой подход позволил реализовать наиболее подходящий к специфике решаемой задачи алгоритм, упростить структуру программы и избежать лишних программных зависимостей. Обработка изображений происходит при помощи битовых операций и простых арифметических и логических операций над элементами массива в общей памяти. Размерность массива, в котором производятся более сложные операции поиска пятен и расчёта его характеристик, снижается модулем в несколько раз относительно исходного изображения для увеличения быстродействия.

Нахождение центра пятна на изображении с камеры является критически важным для корректной работы алгоритма автоматической юстировки. Эта часть САУ ОД является наиболее зависимой от внешних условий среды – прозрачности светофильтров, мощности и частоты оптического сигнала, настроек камер, дефектов оптической схемы, влияющих на количество, размер и яркость бликов, форму размер и яркость основного пятна.

Работа МОАИ над изображением разбита на несколько этапов:

- коррекция яркости изображения в зависимости от мощности оптического сигнала, настроек светофильтров и характера внешнего освещения. Достигший матрицы свет может как выходить за пределы чувствительности матрицы камеры, так и лежать в довольно узком диапазоне. В этом случае модулем проводится коррекция яркости изображения, выделяется диапазон, в котором находится большая часть светового потока и происходит расширение его содержимого на весь диапазон изображения. Пример коррекции приведён на рис. 2 (гистограмма яркости выведена на изображение для подтверждения идентичности изображений до и после проведения коррекции);
- определение наличия пятен. На первом этапе происходит переход от полноразмерного изображения с целочисленными абсолютными значениями яркости пикселя к массиву вещественных значений с количеством элементов,

уменьшенным в 64 раза. Каждый элемент массива представляет собой усреднённое значение яркости в области 8x8 пикселей исходного изображения, линейно интерполированное в границах от самого яркого до самой тёмной области исходного изображения. После получения массива относительной яркости областей происходит первая проверка на наличие пятна путем распределения яркости относительно среднего значения. Отсутствие пятен характеризуется монотонным распределением без резких перепадов яркости. После подтверждения наличия пятен происходит отсечение фоновой засветки по заданному порогу. Пример перехода от исходного изображения размером 1920x1200 пикселей к массиву относительной яркости с размером области усреднения 60x60 пикселей приведен на рис. 3;

– определение пятен. После отсечения фоновой засветки происходит обход массива яркости областей горизонтальной сканирующей линией. Данные о яркости и положении смежных областей с отличной от нуля яркостью записываются в список потенциальных пятен. Списки потенциальных точек также могут оказаться смежными, в этом случае они объединяются;

– выбор пятна и определение его центра масс. Из полученного списка потенциальных пятен выбирается наибольшее по суммарной светимости. В случае, если пятно слишком маленькое или слишком большое, поиск пятна

признаётся неудачным. В противном случае происходит вычисление координат точки центра масс исходя из яркости и координат областей, входящих в полученное пятно.

Разработанный алгоритм обнаружения пятна обладает широкими возможностями для обеспечения юстировки.

Отладка алгоритма юстировки

На этапе разработки ПО САУ ОД отладка алгоритмов автоматической юстировки проводилась по двум направлениям:

– определение центра пятна на реальных изображениях, полученных различными типами камер в разных условиях внешнего освещения, наборах светофильтров и положениях источника оптического сигнала;

– заведение пятна в центр изображения.

Для обеспечения отладки алгоритма заведения пятна в центр изображения был разработан имитатор оптической схемы и исполнительных элементов. Экран ПО имитатора приведён на рис. 4.

Имитатор оптической схемы был выполнен на основе математической модели оптической схемы, исполнительных механизмов (ШД) и регистрирующего оборудования. Имитатор выполняет следующие действия:

– приём команд управления ШД от САУ ОД и имитация их выполнения на управляемых зеркалах;

– расчёт прохождения луча через набор управляемых и неуправляемых зеркал;

– проверка попадания луча в матрицы виртуальных камер;

– генерация изображения пятна с рассчитанным смещением;

– передача сгенерированного изображения по команде от САУ ОД.

Таким образом, взаимодействие составных частей ПО имитатора, расположенных частично на управляющем компьютере САУ ОД, а частично на технологическом компьютере под управлением ОС Windows с использованием тех же протоколов обмена, команд управления и форматов изображений, что и для реального оборудования, позволяет отладить алгоритм юстировки оборудования оптического канала без использования реального оборудования.

В результате проделанной работы была определена схема построения САУ, произведена разработка алгоритмов управления технологическим оборудованием и автоматической юстировки. Разработан ряд программных модулей управления технологическим оборудованием с использованием различных протоколов и способов взаимодействия элементов САУ.

В ходе проведения натурных экспериментов подтвердилась работоспособность ПО САУ, позволяющая проводить автоматическую юстировку оборудования в сложных условиях высокой степени зашумлённости, сильной фоновой засветки, смазанных границ пятна неправильной формы, наличия большого количества бликов, в том числе, превышающих целевое пятно по размеру.

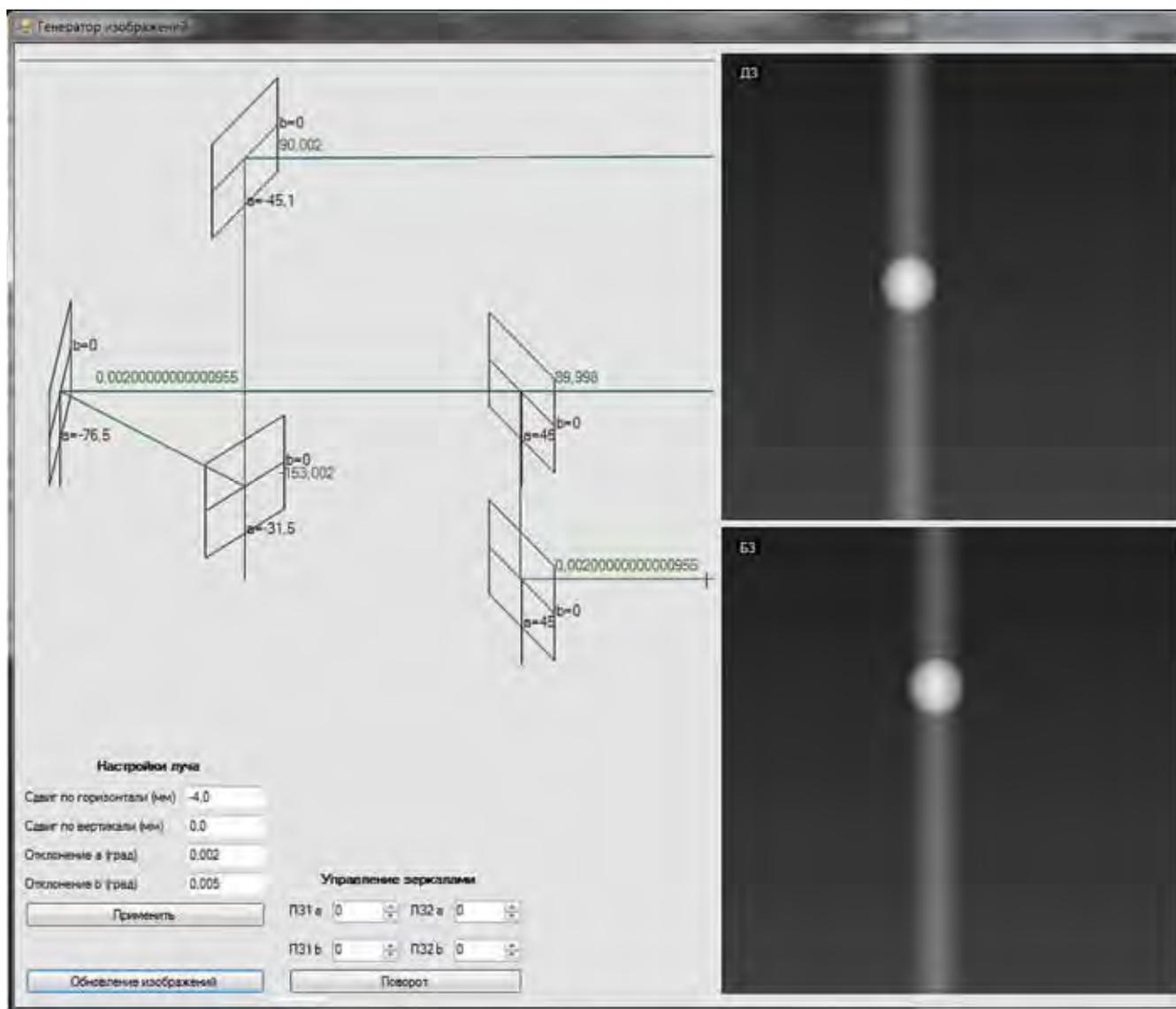


Рис. 4. Внешний вид окна имитатора оптической схемы

Разработка системы управления выпарным аппаратом, предназначенным для технологии экстракционно-кристаллизационной переработки ОЯТ

Д.В. Соколов
ФГУП «ГХК»

Ежегодно объемы ОЯТ увеличиваются, и одним из стратегических направлений в атомной промышленности РФ становятся исследования в области технологий переработки ОЯТ, в том числе для замыкания ядерного топливного цикла. Создание экономически эффективного производства, как и получение обоснованных инженерно-технологических данных, с учетом высокой стоимости оборудования и расходных материалов, радиационной, ядерной и экологической опасности рассматриваемого производства, невозможно без использования качественных и простых в реализации и эксплуатации САУ. Как следствие, необходима реализация алгоритма управления выпарным аппаратом, с требуемым качеством, обеспечивающего устойчивую работу выпарного аппарата в стационарных и переходных режимах.

Теоретическая часть

Объектом исследования является выпарной аппарат, предназначенный для технологии экстракционно-кристаллизационной переработки ОЯТ (рис. 1). Данный аппарат предназначен для выпарки рафинатов до определенной концентрации или же определенной кратности выпарки.

Существенным отличием исследуемого выпарного аппарата от подобных промышленных аппаратов химической технологии является его малый объем, это связано с требованиями по обеспечению ядерной безопасности. В качестве ключевых особенностей, делающих разработку САУ для данного аппарата уникальной, следует отметить гидростатический метод измерения плотности и уровня продукта. Помимо этого в выпарных аппаратах подобного типа в химическом производстве используется паровая греющая камера, в исследуемом же аппарате используется электрическая греющая камера.

Экспериментальная часть

Как правило, при построении аналитических моделей химических аппаратов математическое описание сводится к составлению уравнений материального и теплового балансов системы, базирующихся на фундаментальных законах природы – законах сохранения массы и энергии [1-2].

Основное требование к модели – воспроизведение динамических связей между входными и выходными переменными – является необходимым для проведения вычислительных исследований возможных вариантов САУ, а изменения этих переменных должны соответствовать реальным диапазонам [3].

Для исследования САУ выпарным аппаратом были проведены серии вычислительных экспериментов на синтезированных моделях САУ с реализацией ПИ-регуляторов и релейных

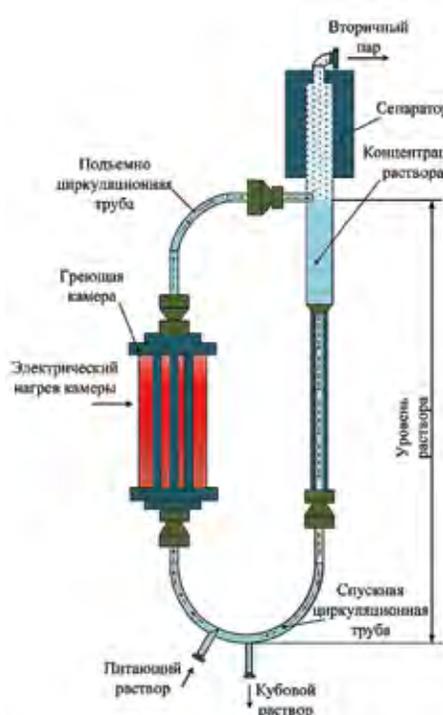


Рис. 1. Схема выпарного аппарата

регуляторов в программной среде MATLAB/Simulink. В результате исследований переходных процессов были рассчитаны основные

показатели качества управления в частности время регулирования, представленное в таблице 1.

Таким образом, разработана математическая модель выпарного аппарата, воспроизводящая динамические связи между входными и выходными переменными, способная служить универсальным инструментом для отладки САУ технологии выпарки концентратов ОЯТ.

Синтезированы две системы управления выпарным аппаратом с использованием релейных и ПИ-регуляторов. Параметры настройки ПИ-регуляторов рассчитывались методом динамической компенсации и методом оптимального модуля с использованием программного комплекса «SAR-sintez» и приложения Simulink – «Control Design PID Tuner».

Исследованы переходные процессы разработанных САУ, в ходе чего выявлены плюсы и минусы каждой из систем.

Список литературы

- Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учеб пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.
- Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
- Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов. – 2-е издание. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.

Итоговая система, описывающая выпарной аппарат, имеет следующий вид

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} \left(Q_v - u_k \gamma A_K \sqrt{2gh} + \frac{W_v}{\rho_w} \right) \\ \frac{d\rho}{dt} = \frac{1}{Ah} \left(W_v \left(\frac{\rho}{\rho_w} - 1 \right) - Q_v \rho_v \left(\frac{\rho}{\rho_v} - 1 \right) \right) \\ \frac{dT_A}{dt} = \frac{I^2 R_a u_t}{F c_m} - \frac{K S_p T_A}{F c_m} \\ \begin{cases} W_v = \frac{Q_v \rho_v c_v T_v - u_k \gamma A_K \sqrt{2gh} \cdot c T}{i_v}, (\text{при } T \geq T_{\text{кин}}) \\ W_v = 0, (\text{при } T < T_{\text{кин}}) \end{cases} \\ \begin{cases} \frac{dT}{dt} = \frac{[Q_v \rho_v (i_v - i) + W_v (i_v - i) - \lambda (T - T_A)]}{\rho_v c_v Ah}, (\text{при } T \leq T_{\text{кин}} + \alpha) \\ \frac{dT}{dt} = 0, (\text{при } T > T_{\text{кин}} + \alpha) \end{cases} \end{cases}$$

Таблица 1. Прямые показатели качества САУ

Параметр	Время регулирования, мин. САУ № 1	Время регулирования, мин. САУ № 2
Плотность	45	–
Температура	18	16
Уровень	30	28
Кратность	–	38

Магнитно-импульсное упрочнение резцов

Е.А. Рыбкин, В.А. Юдин
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Одной из важных задач при изготовлении режущего инструмента является повышение его срока службы, то есть износостойкости. Режущий инструмент работает в коррозионной среде и с высокой нагрузкой, поэтому он испытывает большой износ, что приводит к быстрому его затуплению.

Цель работы – увеличение износостойкости резцов под влиянием магнитно-импульсного поля.

Теоретическая часть

Главной особенностью ферромагнитных сплавов является наличие доменной структуры. При намагничивании происходит смещение междоменных границ. Благодаря коэрцитивной силе после намагничивания доменная структура не возвращается в исходное состояние. Это обстоятельство и объясняет остаточное упрочнение.

С течением времени доменная структура стремится к восстановлению исходных конфигураций по причине их энергетической стабильности, соответствующей минимуму магнитной энергии. Размеры доменов постепенно уменьшаются, а их число увеличивается. Сплавы с меньшей коэрцитивной силой будут иметь и меньший прирост упрочнения в результате намагничивания.

Нужно учитывать изменения на поверхности реального инструмента в результате финишных операций шлифования или заточки. В поверхностных слоях инструмента при обработке абразивными кругами могут происходить сильные локальные разогревы, приводящие к появлению «прижогов» – участков с измененной структурой. Характер изменения

структуры определяется сочетанием высоких скоростей нагрева и охлаждения с сильным наклепом приповерхностных слоев. Эффект намагничивания зависит как от химического состава твердосплавных материалов и от режима финишных операций, в результате которых создается определенное состояние поверхностного слоя.

При намагничивании в твердосплавных материалах снижается концентрация напряжений, вследствие чего улучшаются механические свойства, повышается микротвердость, увеличиваются напряжения, удерживающие смазочный материал, повышается закрепление в пограничном слое легирующих элементов, таких, например, как кобальт. При этом повышается теплопроводность материала, увеличивается временное сопротивление на изгиб на 15...20%, что обуславливает снижение выкрашивания зерен из режущей кромки инструмента при резании металлов и сплавов.

Экспериментальная часть

Исследования проводились на проходных резцах, оснащенных напайными твердосплавными пластинами ТЗ0К4. Углы заточки: $\alpha=8^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\phi=60^\circ$, $\phi_1=60^\circ$.

Для эксперимента было взято десять резцов, восемь из них подвергались намагничиванию. Намагничиваемые резцы устанавливались в специальную оправку, после чего вместе с оправкой помещались в соленоид магнитной катушки. В связи с неоднородностью магнитного поля в полости соленоида применялись четыре схемы намагничивания резцов. По каждой схеме выполнялось два цикла намагничивания, с перерывом между циклами 5 мин. Длительность импульса составляла 0,5 с. После намагничивания резцы устанавливались на 24 часа в деревянные подставки.

При обработке закаленных деталей с твердостью поверхности 36,5...41,5 HRC резцами намагниченными и ненамагниченными были подобраны оптимальные режимы резания согласно справочной литературы.

Намагниченность образцов наблюдалась весь период при проведении экспериментов и являлась неизменной даже после обработки деталей. Намагниченность резцов изменилась только после их переточки, она уменьшилась в среднем на 6,56%, что свидетельствует о глубине упрочненного слоя.

В ходе эксперимента были получены зависимости износа резцов (наблюдаемого со стороны главной задней поверхности) от времени работы и схемы намагничивания.

У ненамагниченных резцов (рис. 1) износ вершины, главной режущей кромки, а также главной задней поверхности происходит неравномерно и он гораздо больше, в отличие от намагниченных резцов (рис. 2), при равном времени работы.

Вершина, главная режущая кромка и главная задняя поверхность у резцов, не обработанных импульсным магнитным полем (в отличие от обработанных по наиболее оптимальной схеме), имеют сколы и выкрашивания.

По итогам проведенного эксперимента видно, что стойкость намагниченных резцов в 1,5 раза больше, чем у ненамагниченных. Планируемый экономический эффект согласно ориентировочным расчетам – экономия до 15% средств при изготовлении деталей.

Список литературы

Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. -Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

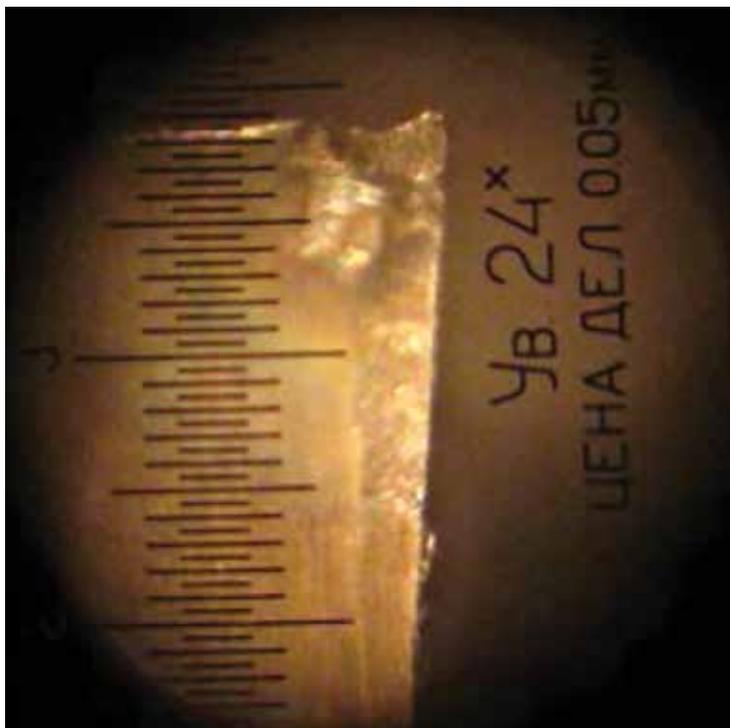


Рис. 1. Резец ненамагниченный

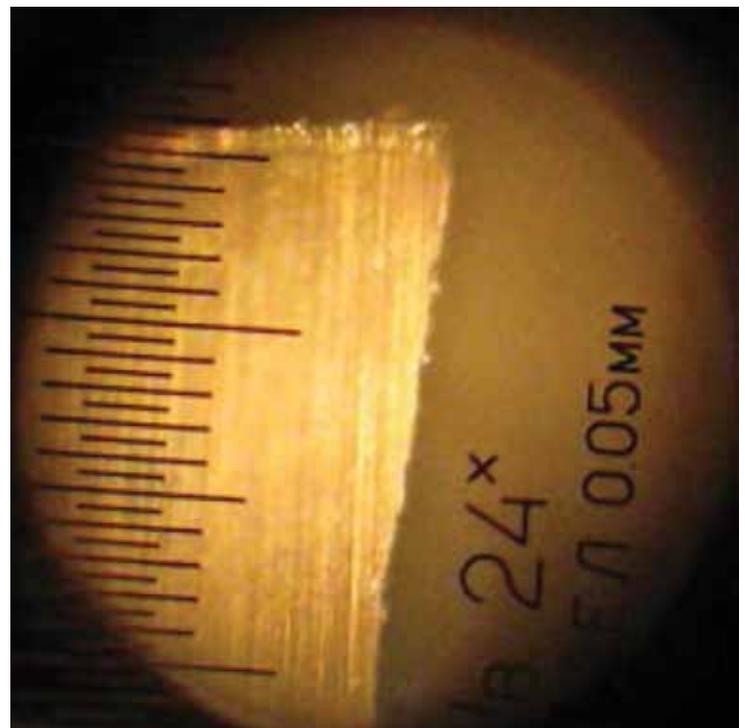


Рис. 2. Резец, намагниченный со стороны северной полярности соленоида

Исследование деградации кварцевых генераторов при воздействии радиационных факторов космического пространства

Д.В. Заворотнов, А.В. Демидова, М.Е. Коротеев
АО «ЭНПО СПЭЛС», НИЯУ МИФИ

На данном этапе развития электроники важную роль в микросистемной технике играют компоненты, отвечающие за генерацию сигнала тактовой частоты, так как от этого зависит надежность работы, точность и достоверность показаний конечных устройств, таких как таймеры, микроконтроллеры и процессоры. Во многих устройствах эту функцию выполняют генераторы тактовых сигналов прямоугольной формы на кварцевых резонаторах. Эти изделия представляют собой синтезатор частоты с кварцевой стабилизацией.

Исследование поведения генераторов на кварцевых резонаторах и деградации их входных и выходных параметров при воздействии ионизирующего излучения и ТЗЧ очень узко представлено в литературе. В статье представлены результаты исследований нескольких типов кварцевых генераторов: RHD XE63S фирмы X SIS и серий SG-8002/3 фирмы Epson.

Основными параметрами тактовых генераторов являются: стабильность частоты выходного сигнала, стабильность уровней логической единицы и логического нуля, ток потребления микросхемы. В связи с этим в процессе накопления дозы ионизирующего излучения проводился контроль соответствующих параметров и функционирования.

Заявленные электрические характеристики осцилляторов серии XE63S, изготовленных по технологии Rad-Hard Crystal Advance Design, достигаются за счет использования прецизионных кварцевых кристаллов и, согласно документации производителя, должны сохраняться вплоть до уровня поглощенной дозы 10^5 ед.

Другой тип микросхем: однократно программируемые кварцевые генераторы фирмы Epson серий SG-8002/3, блок-схема которых представлена на рисунке 1, являются коммерческим продуктом, широко применяющимся из-за уникальных свойств подстройки.

Преимущество однократно программируемых кварцевых генераторов SG-800x заключается в том, что частота выходного сигнала может быть задана путем однократного вы-

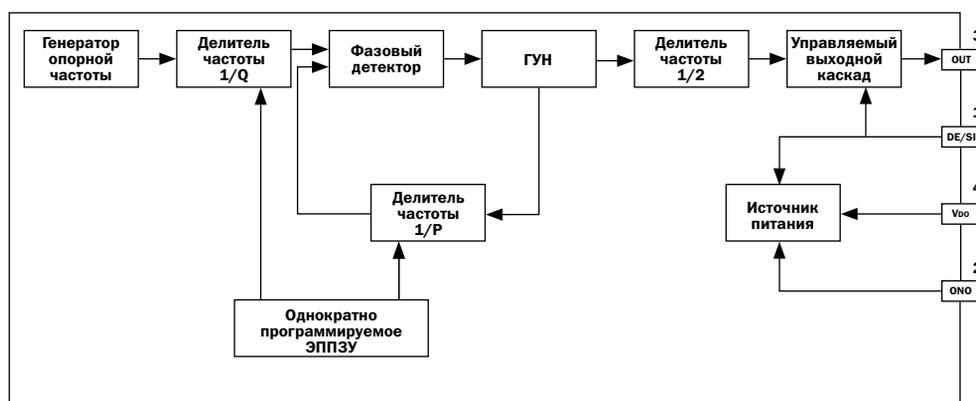


Рис. 1. Типовая блок-схема программируемого генератора семейства Epson SG-800x

бора коэффициентов P и Q на готовом продукте, что позволяет не производить отдельный генератор для каждой частоты.

Генераторы серии XE63S были подвергнуты воздействию гамма-излучения на установке с источником CS_{137} . Уровень стойкости по параметру выхода за норму тока потребления составил $2 \cdot 10^4$ ед., функциональный отказ (ФО) в исследованных образцах произошел при уровне воздействия $7 \cdot 10^4$ ед., что значительно ниже заявленного изготовителем. ФО выражается в отсутствии на выходе генерируемого сигнала. При уровне поглощенной дозы, близком к ФО, частота выходного сигнала постепенно увеличивается в пределах 20 ppm, также наблюдается изменение скважности в пределах 5%. Уровень стойкости, вероятно, обусловлен отказом микросхемы обработки сигнала. Зависимость тока потребления от накопленной дозы представлена на рисунке 2.

ФО для пяти типов образцов серии SG-8002/3 носит сходный характер. Изменений тока потребления, выходных уровней и частоты не происходит вплоть до уровня ФО, по достижении которого наблюдается обнуление выходного сигнала. Необходима проверка реакции схемы на сигнал OE (Output Enable) (или ST (Standby)) управления выходным каскадом микросхемы или используемый для перевода микросхемы в режим покоя, так как именно в этом режиме часто параметрический отказ происходит раньше, чем в активном режиме. В таблице 1 указаны уровни параметрических и функциональных отказов для генераторов

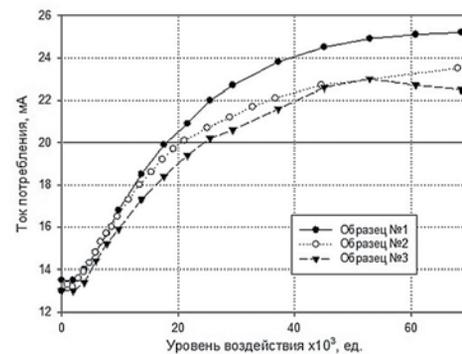


Рис. 2. Зависимости тока потребления микросхем XE63S от значения накопленной дозы

SG-800x от накопленной дозы ионизирующего излучения.

На основании результатов проведенных исследований можно сделать вывод о необходимости контроля заявленных радиационно стойкими генераторов. Наиболее достоверными будут исследования во всех режимах работы с постоянным контролем большого числа параметров в процессе воздействия.

Список литературы

1. М. Петров. Однократно программируемые кварцевые генераторы фирмы Epson. Компоненты и технологии №1, 2002.
2. <http://www.xsis.com/spaceproducts.html>
3. http://www.rssp.ru/partners_news/dostupnye_vysokonadezhnye_radiatsionno_stoykie_kvartsevye_generatory_ot_xsis_electronics/?sphrase_id=5128

Таблица 1. Характеристики и уровень стойкости однократно программируемых генераторов

Тип генератора	Частота, МГц	Стабильность частоты, ppm	Напряжение питания, В	Уровень ПО, тыс. ед.	Уровень ФО, тыс. ед.
SG-8003LB-PCL	48	50	3,3	19	19
SG-8002CA-PCM	48	100	3,3	12	13
SG-8002JA-PHM	16	100	5,0	11	15
SG-8002JF-PHM	16	100	5,0	11	17
SG-8002LB-PCM	12	100	3,3	24	30

Разработка генератора, управляемого напряжением, с пониженным уровнем фазового шума на КМОП КНИ технологии

Д.А. Сидоренко
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Представленная работа посвящена разработке функционального блока (ФБ) генератора, управляемого напряжением (ГУН), с пониженным уровнем фазового шума на КМОП КНИ технологии, предназначенного для использования в составе микросхем навигационных приемников ГЛОНАСС.

В работе были поставлены следующие задачи:

– определение и анализ причин высокого уровня фазового шума;

– поиск схемотехнических и топологических решений для уменьшения уровня фазового шума ФБ ГУН.

ГУН формирует сигнал для гетеродинного входа смесителя. В таблице 1 указаны характеристики ГУН до и после модернизации.

Рассмотрим ГУН, применяющийся в микросхеме преобразователя частоты ультравысоких частот (ПЧ УВЧ), использующейся в составе прибора радионавигационной системы ГЛОНАСС (рисунок 1, пунктирной линией показано соединение до модернизации схемы).

Ядро ГУН реализовано по схеме LC-мультивибратора [1, 2]. Для развязки ядра

ГУН от нагрузки используются два буферных усилителя реализованных по схеме истокового повторителя на n-канальном и p-канальном МОП транзисторах с резистивной нагрузкой.

В качестве варикапов используются n-канальные МОП транзисторы N-типа (транзисторы в инверсном режиме I-mode варакторы) [3].

Интегральная катушка индуктивности, входящая в состав LC контура, имеет спирально-симметричную структуру, номинал индуктивности составляет 7,5 нГн. Витки катушки выполнены в четырех слоях металлизации и соединены между собой межслойными метал-

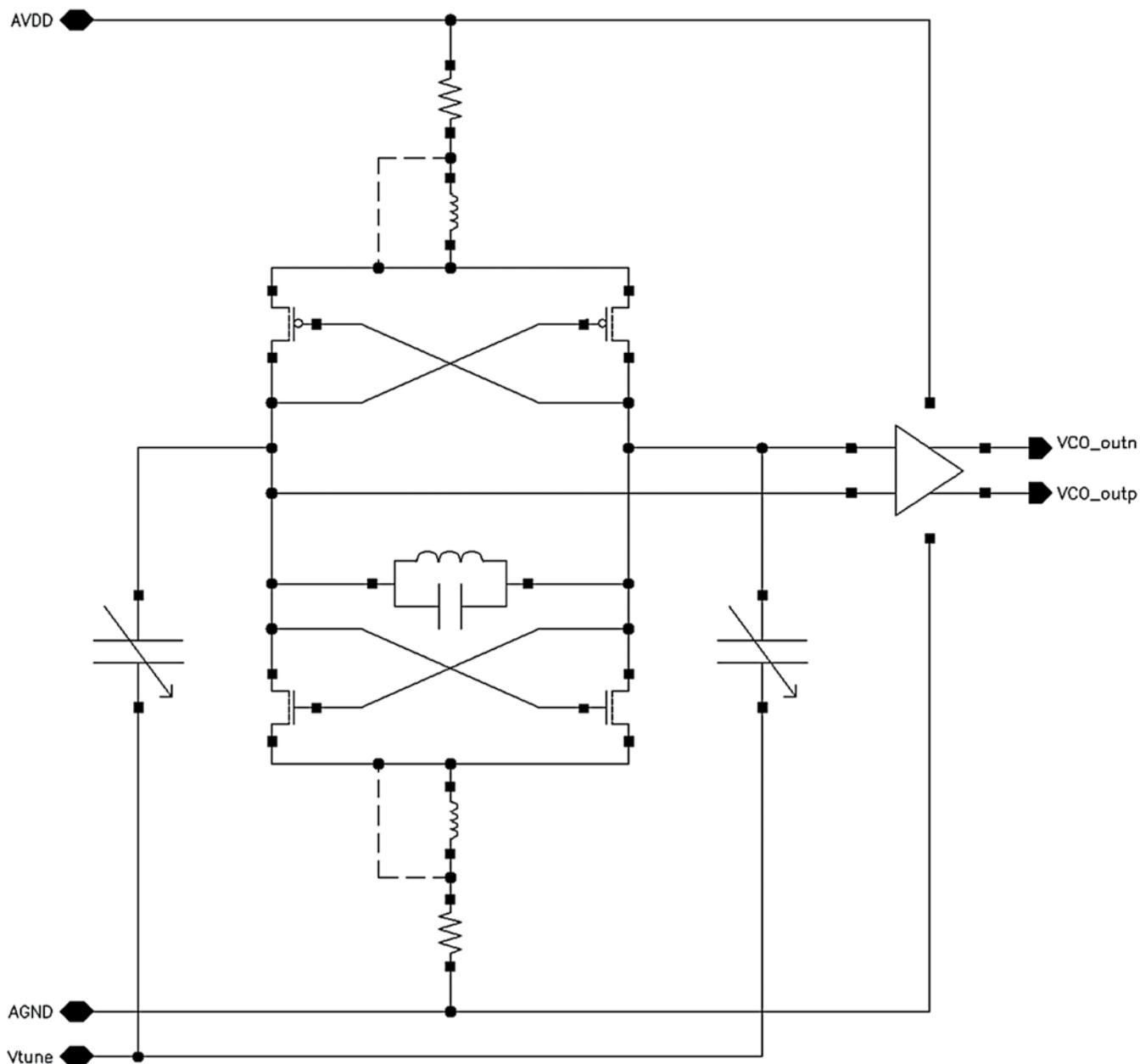


Рис. 1. Электрическая схема ГУН до (пунктирной линией) и после модернизации

Таблица 1. Характеристики ГУН

Наименования параметра, размерность	Версия ГУН	
	до модернизации	после модернизации
Диапазон перестройки центральной частоты, ГГц	от 1,3 до 1,47	от 1,34 до 1,48
Крутизна перестройки, МГц/В	122	87
Выходная мощность на нагрузке 50 Ом, мВт	4,5	5
Спектральная плотность мощности фазовых шумов на отстройке от несущей 100 кГц, дБн/Гц	-95	-115
Подавление гармонических составляющих относительно несущей, дБ	20	25
Ток потребления, мА	40	50

лизированными контактами для увеличения ее добротности.

Конденсатор, входящий в состав LC контура, также выполнен в четырех слоях металлизации для увеличения его добротности. Для увеличения удельной ёмкости обкладки конденсатора реализованы в виде гребёнки, а сама конструкция конденсатора имеет встречно-штыревую структуру. Ёмкость (~0,8 пФ) состоит из межслойной ёмкости соседних слоёв металлизации и вертикальной ёмкости между соседними штырями в одном слое металлизации.

В рамках работ по модернизации микросхемы ПЧ УВЧ была поставлена задача модернизации ФБ ГУН с целью снижения фазового шума до уровня не более -100 дБн/Гц на отстройке от несущей 100 кГц. Контролируемым параметром являлась относительная спектральная плотность мощности фазового шума.

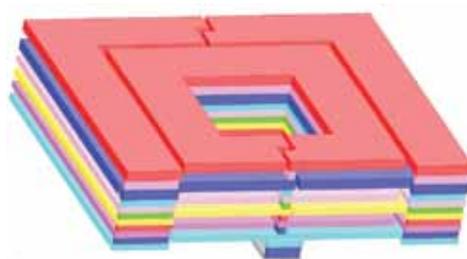


Рис. 2. Топология колебательного контура ГУН после модернизации

Решения, примененные для снижения фазового шума, перечислены ниже (рисунок 1).

1. Варикапы

В качестве варикапов были использованы n-канальные МОП транзисторы n-типа, размещенные в n-кармане (режим аккумуляции, A-mode варикапы) [3]. Использование таких структур обусловлено более плавной пере-

стройкой ёмкости варикапа по сравнению с I-mode варикапом, что позволяет понизить фазовый шум.

2. LC-контур

В качестве катушки индуктивности и конденсатора постоянной ёмкости была использована топологическая сборка, совмещающая в одном элементе катушку индуктивности (~1,88 нГн) и конденсатор (~1,9 пФ) (рисунок 2). Использование такой конструкции помимо компактности позволяет достичь более низкого уровня фазовых шумов за счет более высокой добротности предлагаемого контура.

3. Фильтр

В истоках транзисторов ядра последовательно резисторам включены интегральные катушки индуктивности, вместе с паразитными емкостями образующие фильтр высокочастотных шумов. Использование такого схемотехнического решения позволяет исключить влияние высокочастотных шумов по цепям земли и питания [4, 5].

Топология ГУН после модернизации представлена на рисунке 3.

Обычно уровень разработки (т. н. figure of merit) ГУН определяется двумя способами [6]:

$$PFN = 10 \log \left[\frac{kT}{P_{sup}} \cdot \left(\frac{f_0}{f_{off}} \right)^2 \right] - PN(f_{off}) \quad (1)$$

$$PFTN = 10 \log \left[\frac{kT}{P_{sup}} \cdot \left(\frac{f_{tune}}{f_{off}} \right)^2 \right] - PN(f_{off}) \quad (2)$$

- k – постоянная Больцмана
- T – температура
- P_{SUP} – потребляемая мощность
- f₀ – центральная частота ГУН
- f_{tune} – ширина диапазона перестройки частоты ГУН
- f_{off} – частота отстройки
- PN(f_{off}) – относительная спектральная плотность мощности фазовых шумов на отстройке f_{off}

Результаты оценки уровней разработки ГУН, проведенной согласно выражениям (1) и (2) приведены в таблице 2.

В результате выполнения данной работы были получены следующие результаты:

- проведен поиск причин относительно высокого уровня фазового шума и их анализ. Разработаны схемотехническое и топологическое представления ФБ ГУН с пониженным уровнем фазового шума;
- помимо выполнения основной задачи (снижение фазового шума), дополнительно увеличено подавление гармонических составляющих относительно несущей.

Таблица 2. Оценка уровня разработки

Наименования параметра, размерность	Версия ГУН	
	до модернизации	до модернизации
PFN	-18,5	1
PFTN	-20	-0,5

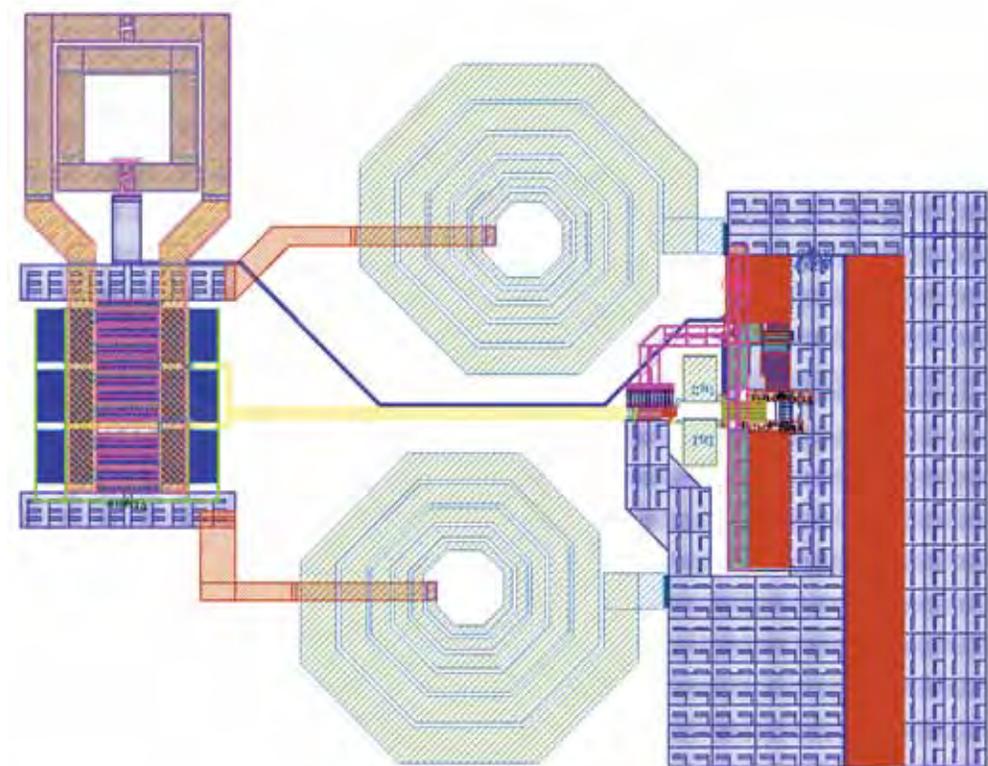


Рис. 3. Топология ГУН после модернизации

Список литературы

1. Razavi, B. – RF Microelectronics / B. Razavi – 2nd ed., 2012. – 916 с.
2. Tiebout M. – Low power VCO design in CMOS / M. Tiebout – Springer series, 2006. – 132 с.
3. P. Andreani, S. Mattisson. On the Use of MOS Varactors in RF VCO's. IEEE Journal Solid-State Circuits, 35:905–910, June 2000.
4. P. Andreani, H. Sjoland. Tail Current Noise Suspension in RF CMOS VCOs. IEEE Journal Solid-State Circuits, 37:342–348, March 2002.
5. E. Hegazi, H. Sjoland, A.A. Abidi. A Filtering Technique to Lower LC Oscillator Phase Noise. IEEE Journal Solid-State Circuits, 36:1921–1930, December 2001.
6. D. Ham, A. Hajimiri. Concepts and Methods in Optimization of Integrated LC VCOs. IEEE Journal Solid-State Circuits, 36:896–909, June 2001.

Быстродействующий интегральный стабилизатор с малым падением напряжения

**А.В. Гусев, И.С. Бульбаков,
М.В. Стариков
ЗАО «СКАН»**

Применение стабилизатора напряжения в составе сложной интегральной микросхемы ставит перед разработчиками такие задачи как обеспечение малой площади на кристалле и высокой скорости компенсации изменения тока нагрузки. При этом классическим решением для повышения быстродействия является подключение конденсатора к выходу стабилизатора. Но размер конденсатора в интегральном исполнении не всегда позволяет использовать этот метод, а подключение внешнего конденсатора возможно только в случае наличия свободных выводов корпуса.

Особенности разработанной схемы

Разработанный регулятор напряжения имеет ряд преимуществ над классической схемой, поскольку не содержит конденсатора на выходе, что позволяет существенно уменьшить его площадь на кристалле, при этом имея повышенное, относительно классической схемы, быстродействие.

В случае отказа от конденсатора, традиционная схема стабилизатора (Рис. 1) имеет ограничения по быстродействию: с одной

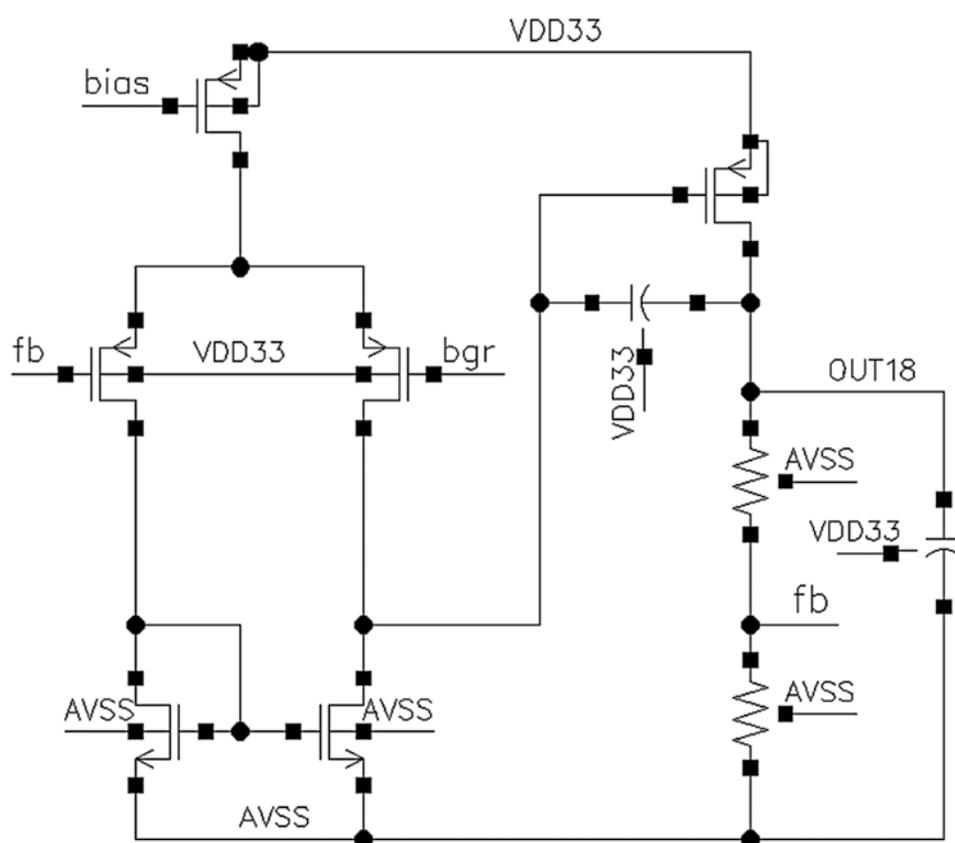


Рис. 1. Традиционная схема стабилизатора напряжения

Таблица 1. Сравнение основных характеристик с ранее опубликованными работами

	[1]	[2]	[3]	Данная работа
Техпроцесс, нм	90	110	65	180
Входное напряжение, В	1-1.2	1.8-3.8	1.5-2.5	2.3-3.3
Выходное напряжение, В	0.9	1.6-3.6	1.2	1.8
Ток нагрузки, мА	0-50	0-200	0.1-10	0-100
Коэфф. регулирования нагрузки, мВ/мА	0.082	0.108	0.01	0.04
Реакция схемы на изменение тока нагрузки, мВ	50мА@1нс =10	200мА@500нс =400	10мА@1мкс =15	20мА@1нс=100 100мА@1нс=300 100мА@1мкс=30
Конденсатор	1 мкФ внешний	40 пФ встроенный	Нет	Нет
Петлевое усиление (дБ)	50	75-85	65-77	40-60
Площадь (мм ²)	0.002	0.2	0.0208	0.023

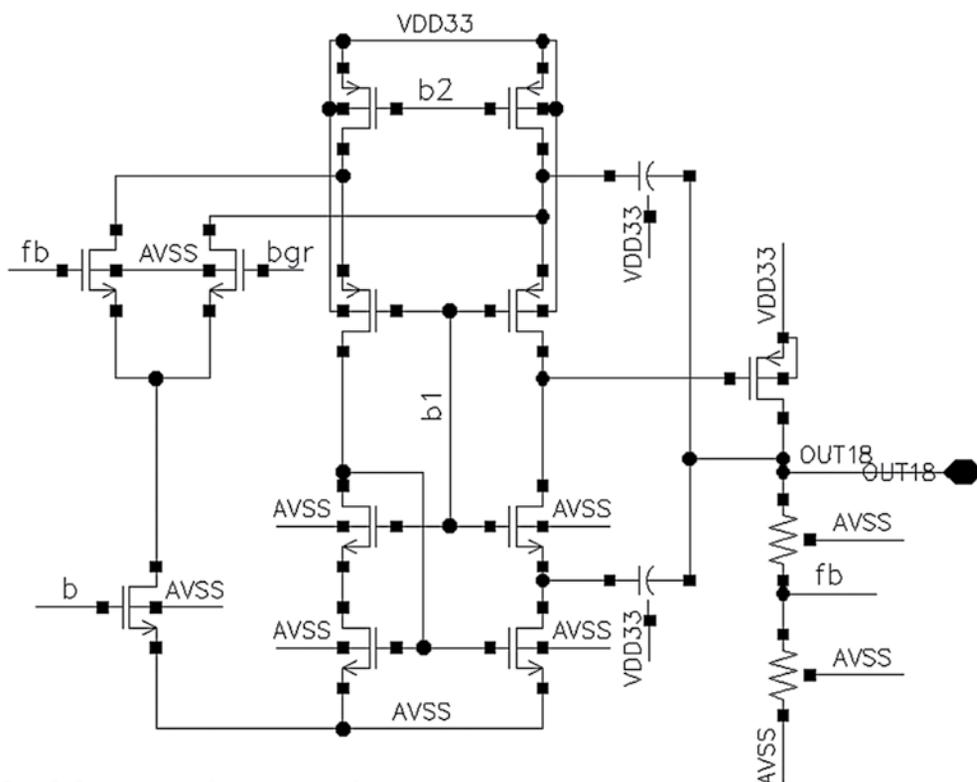


Рис. 2. Схема разработанного стабилизатора напряжения

стороны, увеличение ширины выходного транзистора увеличивает его крутизну g_m , что позволяет повысить быстродействие, с другой же стороны, увеличение транзистора увеличивает паразитные емкости затвор-исток и затвор-сток – C_{gs} и C_{gd} соответственно, вследствие чего быстродействие снижается (1).

$$f \approx \frac{g_m}{2\pi(C_{gs} + C_{gd})} \quad (1)$$

Повышение режимного тока в каскаде ОУ также имеет предел возможностей, поскольку это либо уменьшит коэффициент усиления ка-

скада, либо повысит емкость затвора входных транзисторов и уменьшит скорость реакции на изменение напряжения в обратной связи.

В разработанном стабилизаторе (Рис. 2) применяется ОУ с вложенным каскодом, подключенный к выходному каскаду с открытым стоком. Таким образом, схема содержит три последовательно включенных усилительных каскада: с общим истоком, с общим затвором и выходной каскад с открытым стоком и обратной связью. Для обеспечения запаса по фазе необходимо использовать емкостную обратную связь. В данной схеме применена обратная связь с выхода стабилизатора, проходящая на входы каскадов с общим затвором. Применение такого подключения обусловлено повышением глубины ОС.

Моделирование

На рисунках 3 и 4 представлены результаты моделирования реакции схемы на изменение тока нагрузки в различных диапазонах: на рис. 3 – 0-100 мА с линейным фронтом длительностью 1 мкс, на рис. 4 – 0-20 мА с линейным фронтом длительностью 1нс.

В таблице 1 показано сравнение основных характеристик разработанного стабилизатора напряжения с несколькими аналогами.

Список литературы

1. Ho M., Leung K.N., Mak K. // IEEE J. of Solid-State Circuits. Vol. 45. 2010. P. 2466-2475.
2. Kim Y., Lee S. // IEEE Transactions on Circuits and Systems - II: Express Briefs. Vol. 60. No. 6. 2013. P. 326-330.
3. Xingyuan T., Kangkang W. // IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI. 2017. P. 651-654.

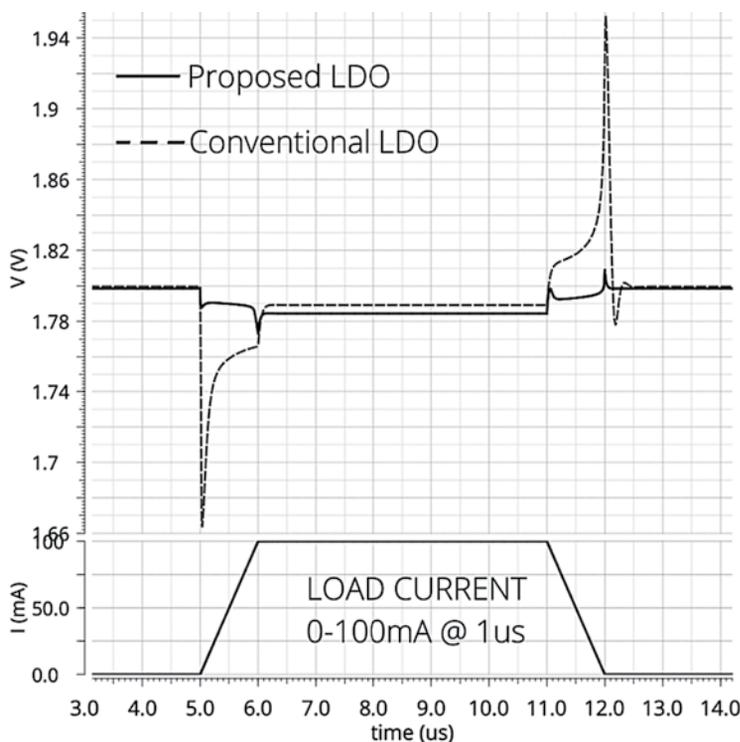


Рис. 3. Реакция схемы на изменение тока нагрузки 0-100мА

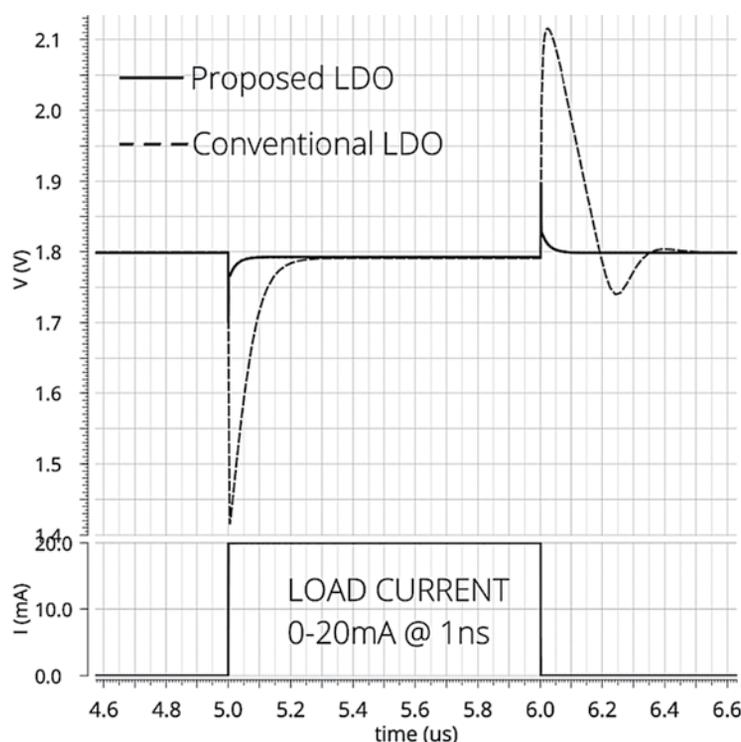


Рис. 4. Реакция схемы на изменение тока нагрузки 0-20мА

Исследование технологии изготовления ЗС из CVD алмаза для ЛБВ W-диапазона

Е.А. Богомолова, А.В. Дерябкин, А.К. Смирнова
АО «НПП «Исток» им. Шокина»

На сегодняшний день более востребованы приборы, в том числе и в России, Ka- и W-диапазона [1-5]. Среди электровакуумных приборов перспективной является лампа с бегущей волной (ЛБВ), обеспечивающая широкую полосу рабочих частот. Разработка таких приборов требует решения целого ряда проблем, связанных с значительным уменьшением размеров резонаторов и замедляющих систем (ЗС) и повышением требований к точности изготовления. Это привело к разработке специальных технологий изготовления, обеспечивающих допуски в пределах единиц микрометров и высокое качество поверхности – LIGA технологии [6] и DRIE процесс [7]. К недостаткам этих технологий относится необходимость использования специализированного, очень дорогостоящего оборудования. В АО «НПП «Исток» им. Шокина» был разработан проект ЛБВ W-диапазона с ЗС типа меандра на алмазной подложке, базирующийся на имеющейся технологической базе (прецизионная лазерная резка и выращивание CVD алмазных платин с последующей металлизацией).

Теоретическая часть

Планарная ЗС полностью выполнена из CVD алмаза, на поверхности которого сформированы проводники в виде меандров, расположенных с двух сторон от ленточного пучка внутри прямоугольного волновода (Рис. 1).

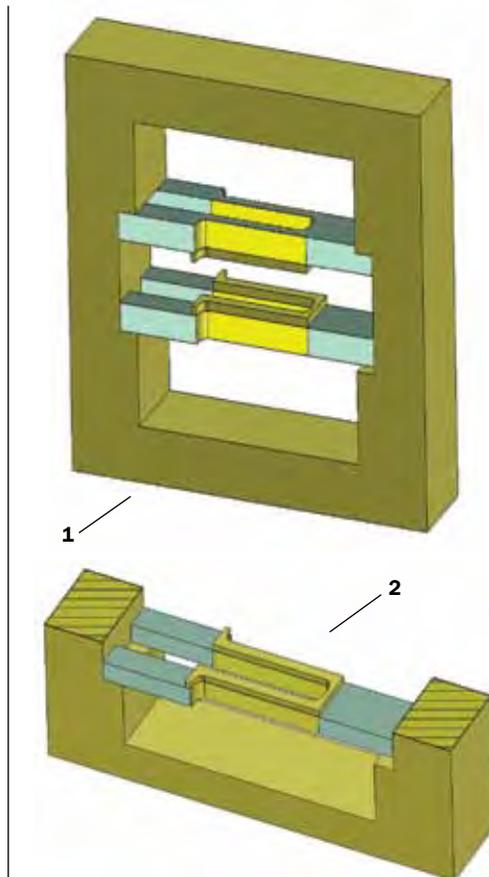


Рис. 1. Один период ЗС: 1 – металлический меандр, 2 — алмазная пластина.

Предложенная конструкция ЗС отличается от аналогичных планарных ЗС тем, что здесь вся система выполнена из CVD алмаза, в котором формируется металлический меандр толщиной 50 мкм.

Геометрия ЗС подбиралась так, чтобы обеспечить высокое сопротивление связи (не менее 20 Ом) в полосе рабочих частот не менее 5 ГГц и рабочем напряжении пучка 13 кВ. Период ЗС составил 190 мкм. Толщина меандра составляет 50 мкм. Пролетный канал высотой 240 мкм.

По одномерной программе расчета пространства взаимодействия были получены выходные характеристики лампы, представленные на рис. 2.

При длине области взаимодействия 24.6 мм и рабочем напряжении 13кВ, входной мощности 1 Вт, выходная мощность в полосе 5 ГГц достигает 27 Вт, что в 3 раза превышает мощность разработанной ранее лампы традиционной конструкции.

Экспериментальная часть

В данной работе исследовалась технология изготовления данной ЗС. Основными показателями технологии являются точность изготовления и качество поверхности.

В АО «НПП «Исток» им. Шокина» в настоящее время разработаны технологии, позволяющие работать с алмазом [8-12]. К ним относятся: прецизионная лазерная резка; термошлифовка, основанная на интенсивном растворении металла и углерода при температуре ниже эвтектики; удаление



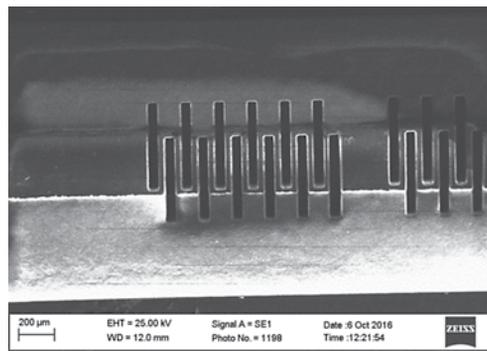
Рис. 2. Расчетная выходная мощность и усиление ЛБВ



Рис. 3. Микрофотография профилированной заготовки ЗС.



а)



б)

Рис. 4. Изображение элемента заготовки ЗС после лазерной резки: а) с оптического микроскопа, б) с растрового электронного микроскопа.

графита и электрической проводимости, образовавшихся вследствие воздействия высоких температур (свыше 10000С) при лазерной резке и термошлифовке; высокоадгезионная теплопроводящая металлизация под пайку с высокой адгезией без ухудшения электрофизических свойств алмаза; создание проводящих областей алмаза.

Разработанные методики являются простыми и надёжными способами обработки алмаза, позволяющими экономить время, материалы и ресурсы при изготовлении изделий.

Основными технологическими этапами изготовления ЗС ЛБВ являются:

1) Рост пластин поликристаллического CVD-алмаза.

2) Термошлифовка заготовок для формирования заданного профиля ЗС (рис. 3).

3) Лазерная резка с целью формирования меандра из профилированной заготовки (рис. 4).

4) Очистка заготовки ЗС от графитизированных слоёв.

5) Высокоадгезионная металлизация:

5.1) создание высокоадгезионного подслоя:

- напыление кремния на меандр и области под пайку с обратной стороны заготовки ЗС,
- ионное легирование для формирования слоёв кремний – карбид кремния – алмаз,
- термический отжиг слоёв для восстановления нарушений кристаллической решётки;

5.2) напыление слоёв вольфрама и никеля через трафарет на меандр и областей под пайку с обеих сторон заготовки ЗС (рис. 5), гальваническое осаждение Au на меандр.

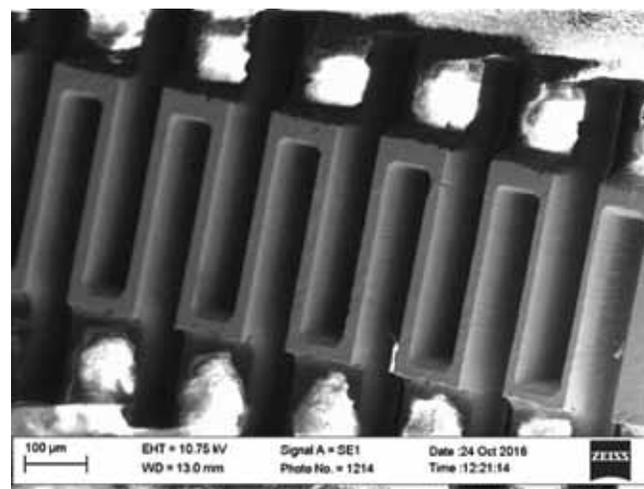
Использование новой конструкции ЗС позволит существенно увеличить выходную импульсную мощность широкополосной ЛБВ в W-диапазоне при рабочем напряжении не более 13кВ.

Список литературы

1. Srivastava V. THz vacuum microelectronic devices // J. Physics: Conf. Series. 2008. Vol. 114. No.1.012015.
2. Booske J.H., Dobbs R.J., Joye C.D., Kory C.L., Neil G.R., Park G.S., Park J.H., Temkin R.J. Vacuum electronic high power terahertz sources // IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 2011. Vol. 1. No. 1. P. 54-75.
3. Shin Y.-M., Baig A., Barnett L.R., Tsai W.-C., Luhmann N.C., Pasour J., Larsen P. Modeling investigation of an ultrawideband terahertz sheet beam traveling-wave tube amplifier circuit // IEEE Trans. Electron Devices. 2011. Vol. 58. No. 9. P. 3213-3219.
4. Shin Y.-M., Baig A., Barnett L.R., Tsai W.-C., Luhmann N.C. System design analysis of a 0.22-THz sheet-beam traveling-wave tube amplifier // IEEE Trans. Electron Devices. 2012. Vol. 59. No. 1. P. 234-240.
5. Рожнев А.Г., Рыскин Н.М., Каретникова Т.А., Торгашов Г.В., Сеницын Н.И., Шалаев П.Д., Бурцев А.А. Исследование характеристик замедляющей системы лампы бегущей волны миллиметрового диапазона с ленточным электронным пучком // Изв. Вузов. Радиофизика. 2013. Т.56, № 8-9. С.601-613.
6. Гольденберг Б.Г. Базовые принципы LIGA-технологии [электронный ресурс].// www.ssrc.inp.nsk.su/СКР/lectures/Theory_of_LIGA-technology.pdf
7. DRIE technology: from micro to nanoapplications [электронный ресурс] / J.-M. Thevenoud, B. Mercier, T. Bourouina et.al. www.researchgate.net%2Fprofile%2FT_Bourouina%2Fpublication
8. Духновский М.П., Крысов Г.А., Ратникова А.К. Металлизация пластин из искусственного CVD – алмаза // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. Вып. 1(494). 2008. С.3-7.
9. Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю., Кудряшов О.Ю., Леонтьев И.А. Термическая обработка поликристаллического CVD-алмаза с целью формирования гладкой поверхности. // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника, 2008. Вып. 2 (495).С.41-46.
10. Вяхирев В.Б., Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю. Изолирующие теплоотводы на основе CVD-алмаза для силовой электроники. // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника, 2009. Вып. 3 (502).С.36-40.
11. Ратникова А.К. Теплоотводящие подложки на основе поликристаллического CVD-алмаза. //Электронная техника. Сер.1. СВЧ-техника, 2011. Вып. 3 (510). С.76-86.
12. Мальцев П.П., Редькин С.В., Глинский И.А., Побойкина Н.В., Духновский М.П., Федоров Ю.Ю., Смирнова А.К., Куликов Е.Н., Щербаков С.В., Леонтьев И.А., Кудряшов О.Ю.,Скрипниченко А.С. Алмазные наноструктуры для теплоотводов СВЧ полупроводниковой электроники. // Российские нанотехнологии. № 7–8 (июль – август), Т. 11, 2016 г. С.82-88.



а)



б)

Рис. 5. Изображение элемента заготовки ЗС после напыления металлизации: а) с оптического микроскопа, б) с растрового электронного микроскопа.

Многофункциональный аппаратно-программный осциллографический комплекс для длительного контроля и испытаний

Д.А. Недорезов
АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева»

Важнейшим измерительным прибором для исследования амплитудных и временных характеристик электрического сигнала (либо любых других форм сигнала, преобразованных в электрический) является осциллограф. Современные осциллографы позволяют вести длительную запись измеренных данных для их последующего глубокого анализа, что находит применение, например, в области электроники – для исследования характеристик электронной компонентной базы (ЭКБ), в области материаловедения – для исследования проводимости материалов, в медицине – для регистрации биотоков и пр.

Наибольшее распространение на сегодняшний день получили неконфигурируемые электронные осциллографы, имеющие так называемое «боксовое» исполнение (англ. «box» – коробка). Очевидным преимуществом подобных решений является простота их настройки и целевого применения, однако, данные измерительные приборы не позволяют гибко адаптировать свою жестко реализованную аппаратно-программную составляющую под динамически меняющиеся задачи исследований, например, если необходимо масштабировать количество каналов, реализовать сложный алгоритм начала и остановки записи или анализа измеренных данных, производить высокоскоростной обмен данными с контрольно-испытательной аппаратурой из состава сложных аппаратно-программных комплексов и пр. Данные недостатки решаются путем применения магистрально-модульных систем в общепринятых стандартах, таких как, PXI, cPCI, PCI и др. [1-2], что позволяет успешно разрабатывать сложные аппаратно-программные комплексы, которые помимо осциллографов включают в себя различные аналоговые генераторы, устройства цифрового ввода-вывода, контроллеры различных сложных узкоспециализированных интерфейсов и пр. [3– 5].

В качестве примера реализации вышеописанных решений можно привести, один из многих разрабатываемых в компании «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» аппаратно-программных испытательных комплексов [Рис. 1].

Данный комплекс состоит из кейт-шасси, кейт-контроллера и пяти двухканальных осциллографов. К основным конкурентным преимуществам технического решения следует отнести: возможность масштабирования ко-

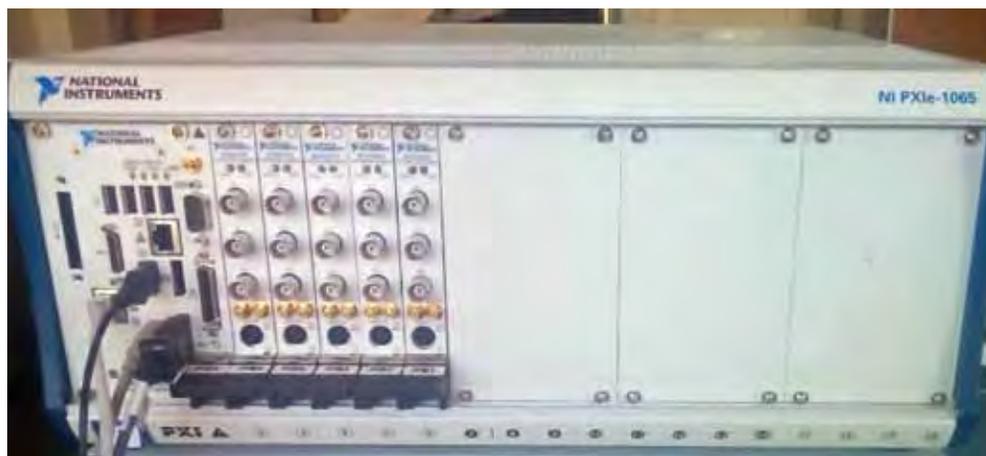


Рис. 1. Многофункциональный аппаратно-программный осциллографический комплекс для длительного контроля и испытаний

личества каналов как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения (до 200 каналов); вести запись сигнала на винчестер или рейд-массив по всем каналам синхронно в течение длительного времени (до года); возможность реализации алгоритмов сбора данных и управления на языках C++, G (LabView) и др.; наличие разработанного в АО «ИСС» программного обеспечения (ПО), позволяющего проводить комфортную для пользователя (как на «боксовых» осциллографах) настройку под задачи исследований и глубокий анализ записанных данных в реальном времени (ПО содержит интеллектуальные возможности амплитудного и частотного анализа, поиска практически любых артефактов сигнала); мобильность; аппаратно-программная конфигурируемость – возможность применения различных аппаратных и программных стандартизированных модулей, с различными характеристиками (индивидуальное соотношение цена/качество для каждого заказчика); высокая надежность ЭКБ и программных модулей, примененных в составе комплекса, проверенная десятками лет использования по всему миру; полный функционал персонального компьютера в комплексе (одновременное использование любого ПО поддерживаемого операционной системой Windows); очень выгодная цена в сравнении с конкурентами.

В качестве примера апробации комплекса можно привести исследования электромагнитных двигателей из состава космических аппаратов АО «ИСС» и АО «РКЦ «Прогресс», которые проводились в АО «ИСС», АО «НПЦ» Полос» и в других организациях в 2016-2017 гг.

Указанный аппаратно-программный комплекс позволяет проводить исследования электрического сигнала (в том числе, полученного с любых датчиков, преобразующих любые

виды энергии в электрическую), включающие отображение на дисплее характеристик сигнала, их длительную запись и глубокий анализ. При этом по соотношению предоставляемого функционала, надежности и цены предложенное решение не имеет аналогов в мире.

Список литературы

1. Недорезов, Д.А. Магистрально-модульная система для обработки бортовой радиоэлектронной аппаратуры / Д.А. Недорезов, С.С. Красненко, В.Б. Кашкин, А.В. Пичкалев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – №2(48). – С. 133-136.
2. Недорезов, Д. А. Высокопроизводительные вычислительные системы для наземных испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов / Д.А. Недорезов, О.В. Непомнящий, А.В. Пичкалев // Новости передовой науки: материалы IX Международной научно-практической конференции, г. София. – 2013. – С. 37–41.
3. Недорезов, Д.А. Магистрально-модульная система для долговременных испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры / Д.А. Недорезов, С.С. Красненко // Разработка, производство и эксплуатация космических аппаратов и систем: материалы III Международной научно-технической конференции молодых специалистов, г. Железногорск. – 2014. – С. 80–82.
4. Недорезов, Д.А. Многоканальный цифровой синтез в имитаторах радионавигационных сигналов / Д.А. Недорезов, С.С. Красненко, В.Б. Кашкин, Ю.Г. Хазагаров, А.В. Пичкалев // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2013. – № 5(6). – С. 521-526.
5. Недорезов, Д.А. Многоканальный цифровой синтез в имитаторах радионавигационных сигналов / Д.А. Недорезов, С.С. Красненко, В.Б. Кашкин, Ю.Г. Хазагаров, А.В. Пичкалев // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2013. – № 5(6). – С. 521-526.

Разработка высокоточного микрофлюидного датчика дифференциального давления для широкого спектра предназначения

Н.Д. Шипуля
АО «ГИРООПТИКА»

Современное развитие науки и техники основывается на сложных процессах и технологиях, это обеспечивает безостановочный прогресс существования настоящего мира. Достижение таких высот предполагает большое количество работы на каждом этапе производства, от идеи до продажи, поэтому компьютерное моделирование является неотъемлемой частью современных разработок. Вектор направления развития технологий направлен в сторону миниатюризации, при этом должны сохраняться прежние и добавляться новые функции устройств.

Датчики давления – одни из ключевых и необходимых элементов во многих устройствах и аппаратах, они выполняют не только прямые задачи измерения давления, но и косвенные, что позволяет применять их в различных отраслях и требует от них постоянного развития технологий, усовершенствования своих структур, технологических и параметрических характеристик.

Микрофлюидный датчик для высокоточных измерений является устройством, работающим на принципе равновесия жидкости в мостовом канале в пятиканальной микрофлюидной структуре. За основу разработки взят электрический мостик Уитстона [1], с заменой электрических проводов на жидкостные микроканалы. Это позволяет получить простую систему для точных измерений на основе общего перепада давления структуры. Характеристики этого устройства таковы, что оно сможет занять нишу на современном рынке датчиков давления, так как будет являться конкурентоспособным товаром. К этим характеристикам относятся рабочие температуры, межповерочный интервал, измерительные способности, экстремальные условия эксплуатации и стоимость готового оборудования.

Предложенная конструкция содержит в себе микрофлюидный мостик Уитстона, являющийся аналогом электрического мостика. В электротехнике мостики применяются для нахождения неизвестных сопротивлений, ёмкости и других величин методом сравнения [1]. Название «мостика» объясняется тем, что диагонали цепи соединяют противоположные вершины, как мостика (Рис. 1).

Принцип работы, как и в случае электрической системы, основан на равновесии, то есть, при небольшом отклонении в мостовом канале R_M создаётся поток рабочей среды и разность давления. Отклонение равновесия на необходимую величину задаётся общим перепадом давления между входом и выходом. В системе есть один канал с переменным сопротивлением R_X , ширина которого задаётся на этапе создания системы и рассчитывается в зависимости от требуемого диапазона измерения датчика давления. Ширина канала

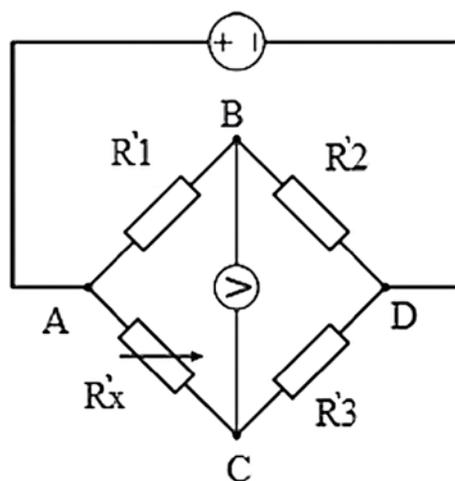


Рис. 1. Электрическая схема измерительного мостика Уитстона
 R_{1-3} – «плечи» мостика; AD – диагональ питания; BC – измерительная диагональ; R_x – элемент с переменным сопротивлением; V – гальванометр [1]

влияет на сопротивление в нём, а это напрямую влияет на коэффициент понижающего давления. Таким образом, изменяя давление в системе, можно менять разность давления в мостовом канале (Рис. 2).

Разрабатываемый микрофлюидный датчик дифференциального давления направлен на импортозамещение, на разработку отечественного высокоточного прибора с целью применения в различных отраслях, как для прямого использования – датчик давления, так и в качестве элемента, внедряемого в уже готовые продукты, для усовершенствования,

развития и расширения технологических возможностей.

Актуальность и инновационность разработки такого микрофлюидного датчика заключаются в его характеристических и функциональных параметрах. Во-первых, это измерительные возможности при данной конструкции, давление до 0,01 Па (аналогами являются дифференциальные манометры «Testo-512» с разрешением 0,1 Па [2] и «Мегеон 51010» с разрешением 0,3 Па [3]). Во-вторых, наличие чувствительного элемента – микрофлюидного компаратора давления, конструкция которого является уникальной и приходит на замену клапанам и другим сложным элементам, при помощи которых другие измерительные приборы достигают точных измерений. В-третьих, данный прибор будет универсальным, так как сможет работать в широком диапазоне. Ещё одним несомненным достоинством такого датчика является вариация работоспособности с различными рабочими средами, жидкостями и газами. Предлагаемый способ измерения и конструктивные элементы измерительного датчика являются инновационными и не имеют аналогов.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям программы «УМНИК».

Список литературы

1. Физика. Электричество и электромагнетизм: Лабораторный практикум / Д.Б. Ким, А.А. Кропотов, Л.А. Герашенко. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 144 с.
2. Testo (электронный ресурс): <https://www.testo.ru/ru-RU/>
3. Мегеон (электронный ресурс): <http://www.megeon-pribor.ru/>

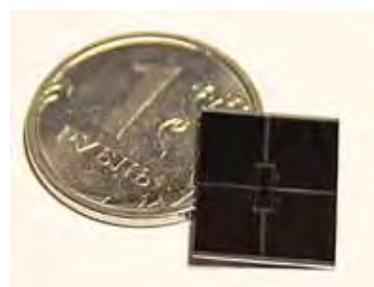
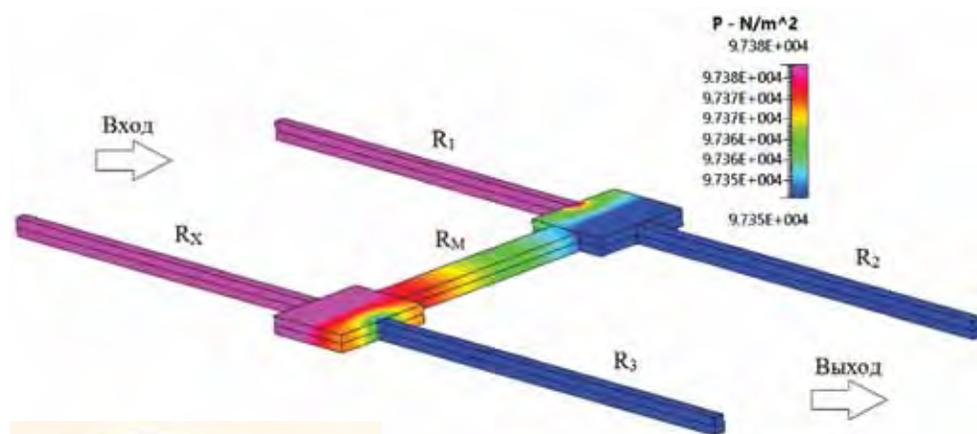


Рис. 2. Внешний вид пятиканальной микрофлюидной системы

Создание импортонезависимой системы управления производственными процессами в составе системы полного жизненного цикла «Цифровое предприятие»

**Т.Н. Офицерова, Е.И. Борисова,
О.Н. Занькова
ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»**

На современном этапе развития информационных технологий применение на предприятиях страны автоматизированных систем управления – один из важнейших показателей, определяющих конкурентоспособность предприятий, способность производить продукцию с лучшими показателями качества и меньшими затратами на производство.

Но на большей части предприятий нашей страны используется программное обеспечение иностранных разработчиков, которое является уязвимым на предмет безопасности и способно в любой момент ограничить работоспособность программного обеспечения и в таком случае создать предпосылки для того, чтобы сделать предприятие, а значит и Россию, заложником в руках западных государств.

В сложившейся в последние годы в мире ситуации, когда для предприятий, а особенно предприятий оборонно-промышленного комплекса, вводятся ограничения на использование иностранного программного обеспечения, актуальными стали проекты по созданию собственного программного обеспечения. Но анализ рынка российских разработчиков говорит о том, что компаний или предприятий, способных в короткие сроки создать качественный российский аналог, очень мало для масштабов нашей страны. В связи с этим РЯЦ-ВНИИЭФ как один из лучших научно-исследовательских центров России предложил в 2016 году Программу по реализации проектов по разработке отечественного программного обеспечения «Цифровое предприятие».

Система полного жизненного цикла «Цифровое предприятие» (СПЖЦ «Цифровое предприятие») – инструмент создания высокотехнологичной продукции, позволяющий уменьшить затраты на проектирование, производство, сократить срок разработки опытного и серийного производства изделий, снизить затраты на этапе эксплуатации продукции, повысить

эффективность управления ресурсами предприятия.

Программа «Цифровое предприятие» включает несколько проектов по разработке программного обеспечения и нормативно-методологического обеспечения, на которые были разработаны технические задания. Одним из этих проектов стала Система управления производственными процессами, разработанная в соответствии с техническим заданием (ТЗ) на разработку Автоматизированной системы управления производством.

Система управления производственными процессами (далее – Система) обеспечивает решение основных прикладных задач управления производством предприятия от планирования загрузки производственных мощностей до регистрации выпуска продукции из производства.

Цель работы – создание базового варианта импортонезависимой системы управления производственными процессами, которая обеспечивает:

- планирование и диспетчеризация производства на различных уровнях управления;
- управление материальными ресурсами в производстве;
- управление качеством в производстве;
- регистрацию выпуска из производства и перемещения полуфабрикатов и изделий в производстве;
- обеспечение ведения нормативно-справочной информации производственных процессов;
- поддержку производственного документооборота.

В 2011–2014 гг. РЯЦ-ВНИИЭФ приобрел опыт разработки и внедрения системы управления производством в рамках реализации «Программы «Создание типовой информационной системы предприятий ядерно-оружейного комплекса (ЯОК)». В рамках реализации этой программы система управления производством была реализована с использованием зарубежных компонентов. Система эксплуатируется в подразделениях ПТК РЯЦ-ВНИИЭФ, находится в опытной эксплуатации на других предприятиях ЯОК.

В 2016 году на основе результатов и полученного опыта по разработке системы управления производством создан базовый вариант Системы (версия 2.1), реализованный с использованием импортонезависимых компонентов с открытым исходным кодом.

Структура Системы представлена двумя уровнями:

1. Объемно-календарного, оперативного планирования и диспетчеризации производства (уровень завода);
2. Внутрицехового планирования и диспетчеризации производства.

Функциональность системы управления производственными процессами реализована следующими программными блоками:

- Блок нормативно-справочной информации производственных процессов
- Блок планирования и управления производством уровня завода
- Блок планирования и диспетчеризации производства уровня цеха
- Блок управления материальным обеспечением производства

1.1. Блок «Ведение нормативно-справочной информации производственных процессов»

Данный блок предназначен для ведения реестров конструкторских спецификаций и технологических маршрутов, ведения реестров объектов и справочников, таких как, например, извещения об изменении ведомостей допускаемых замен, рабочих центров, необходимых системе для ее функционирования. Кроме этого, блок обеспечивает прием конструкторской и технологической информации из системы PDM 3D-технологии Цифрового предприятия (ЦП). Взаимодействие с системой PDM 3D-технологии ЦП осуществляется путем загрузки обменных файлов согласованного формата (xml-файлов).

Все объекты поддерживают версию, которая отслеживается Системой с помощью реализации алгоритма контроля данных при ручном вводе и приеме данных из системы PDM 3D-технологии ЦП. Это позволяет иметь полную информацию, по каким версиям со-

става изделия и технологической документации изготовлено изделие или составная часть изделия.

1.2. Блок «Планирование и управление производством на уровне завода»

Блок предназначен для реализации задач предварительного и объемно-календарного планирования производства, обеспечивающих основные функции производственного планирования, диспетчеризации и мониторинга исполнения работ на уровне завода.

Функциональность блока обеспечивает расчет производственного плана подразделения, формирование и уточнение составов производственных заказов, автоматическое определение дефицита конструкторской и технологической документации (КД и ТД), определение маршрутов изготовления, расчет, анализ и последующая оптимизация загрузки производственных мощностей, определение возможности исполнения позиции плана в указанные сроки, а также достаточное количество интерфейсов, предоставляющих информацию по обеспеченности производственного плана всеми видами ресурсов и мониторинг текущих отклонений от запланированных дат.

1.3. Блок «Планирование и диспетчеризация производства на уровне цеха»

Блок предназначен для реализации задач внутрицехового планирования и диспетчеризации. Функциональность блока обеспечивает автоматический расчет производственных расписаний рабочих центров, анализ обеспеченности производственного расписания требуемыми ресурсами (конструкторско-технологическая документация, материалы, средства оснащения, инструмент, управляющие программы, комплектующие), создание и контроль исполнения производственных заданий различных уровней (мастер, исполнитель), формирование маршрутно-сопроводительной документации на детально-сборочную единицу (ДСЕ), реализует формирование аналитической информации по отклонениям выполнения производственных заданий, отражение текущего состояния изготовления и перемещения ДСЕ по маршруту изготовления, регистрацию результатов операционного контроля и формирование соответствующей документации.

На уровне цеха работают два модуля: модуль оптимизации производственных расписаний и модуль инструментального цеха.

Модуль оптимизации производственного расписания позволяет автоматически рассчитывать уточненные/оптимизированные сроки запуска/выпуска ДСЕ, определить оборудование, на которое в течение смены нужно выдать задания, сформировать графики запуска производственных заказов с учетом заданных производственных мощностей, сформировать графики загрузки оборудования по календарным периодам планирования.

Взаимодействие с модулем реализовано посредством выгрузки из Системы согласованных исходных данных в специализированные таблицы. После расчета производственного расписания данные о распределении операций на оборудование и уточненные даты запуска/

выпуска выгружаются в систему управления производственными процессами.

Модуль управления инструментальным цехом предназначен для решения задач в области инструментального производства, который позволяет повысить качество производственной деятельности инструментального цеха за счет использования актуальной информации о производстве средств технологического оснащения (СТО), повысить качество изготовления СТО, отслеживать и контролировать выполнение производственных планов инструментального цеха.

1.4. Блок «Управление материальным обеспечением производства»

Блок предназначен для реализации задач планирования потребности в материально-техническом обеспечении производства, формирования заявок на закупку материалов, комплектующих, изделий внешней поставки, мониторинга исполнения заявок на закупку, а также выполнения работ по корректировке потребности в материально-технических ресурсах и заявок на закупку на основании изменений производственной программы как при изменении конструкторской, технологической документации, так и при проведении производственных изменений в составах изделий.

В процессе выполнения работ создано не только программное обеспечение, но и разработана эксплуатационная документация, которая регламентирует выполнение функций в системе согласно типовой роли пользователя.

Взаимодействие с другими системами

Система управления производственными процессами взаимодействует со смежной системой управления проектами в части обеспечения производственными заказами, получения данных о связанных с заказами договорах, проектах, шифров заказов для списания затрат.

Система управления средствами производства предоставляет информацию о состоянии оборудования, исключительных периодах состояния оборудования (ремонтах и авариях).

Заявки на закупку товарно-материальных ценностей (ТМЦ) под производственную программу предоставляются системе управления материальным обеспечением.

В процессе реализации производственных процессов Система формирует и предоставляет системе управления проектной деятельностью данные о фактическом выполнении производственных заказов, системе управления трудовыми ресурсами – данные по нарядам (фактически затраченное время на выполнение операций, наличие брака), системе управления материальными ресурсами – данные по фактическому использованию материалов в производстве.

Система управления производственными процессами взаимодействует также с внешними системами – PDM-системой 3D-технологии ЦП. Обмен данными осуществляется с использованием файлов формата xml. Объектами импорта являются: конструкторско-технологическая документация, расцеховочные маршруты, информация по материалам, заготовкам, инструменту. На основе этих данных

в системе управления производственными процессами формируются все основные объекты, обеспечивающие работоспособность Системы, устанавливаются связи с позициями справочников.

В результате создания в 2016 году импортонезависимой системы управления производственными процессами в составе СПЖЦ «Цифровое предприятие» были достигнуты следующие результаты:

1. Разработана импортонезависимая система управления производственными процессами, реализующая все основные функции управления производством на уровнях «предприятие – завод – цех – участок – смена мастера – рабочее место» и обеспечивающая:

- работу подразделений производственно-технологического комплекса (ПТК) в ИС по циклу «планирование – запуск в производство – выпуск из производства – отчетность»;
- предоставление актуальной картины реального состояния производства и причин отклонений от запланированного процесса;
- гибкое перепланирование при изменении условий (изменение КД, ТД, изменения планов верхнего уровня);
- интеграционное взаимодействие с PDM-системой в рамках сквозной 3D-технологии для обеспечения конструкторскими и технологическими данными;
- функционирование на одной платформе и взаимодействие с другими подсистемами системы управления предприятием;
- модульность и поэтапность внедрения.

2. Проведены испытания и тестирование функциональности в подразделениях ПТК, доработка функциональности по результатам испытаний.

3. Выполнена сдача результатов работ межведомственной комиссии (МВК) (состав МВК – ЯОК, 6 отраслей промышленности).

МВК подтвердила актуальность создания системы управления производственными процессами и сформировала заключение о соответствии результатов работ ТЗ и выполнении показателей эффективности.

РФЯЦ-ВНИИЭФ подана заявка на регистрацию результатов интеллектуальной деятельности и прав собственности на данную систему.

Технология «Цифровое предприятие» качественно отличается от других решений на отечественном рынке автоматизации предприятий в части стоимости программных решений, использования отечественных разработок и функционирования на импортонезависимой аппаратно-программной платформе.

Список литературы

1. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандартов MRP-II. – Питер, 2005. – 412 с.
2. Решетников И.С. MES для эффективного производства, 2012. – 205с.

Система электронных заказов на анализ материалов и контроль изменения результатов анализов

И.Д. Смирнов
ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор»

В 2015 году генеральный директор комбината «Электрохимприбор» дал прямое указание обеспечить наличие на предприятии электронной системы контроля и прогнозирования изменения состояния материалов в процессе их хранения и использования. Для построения подобной аналитической системы потребовались данные о результатах входных, периодических и послегарантийных анализов материалов.

Были рассмотрены различные варианты, учтен опыт неудачной попытки внедрения купленной системы регистрации анализов, и было принято решение о самостоятельной разработке.

Цели проекта:

- облегчить и ускорить формирование заказов на анализ материалов и протоколов испытаний;
- обеспечить прозрачность системы заказов;
- охватить 100% отправляемых заказов на анализ;
- оцифровать данные анализов материалов;
- обеспечить прогнозируемость изменения состояния материалов.

Назначение:

- Программный комплекс предназначен для:
- формирования базы данных архивной информации о заказах на анализ, результатах испытаний, оформленных протоколах;
 - формирования различной отчетности о работе службы специализированных лабораторий, отдела технического контроля и серийного конструкторского бюро;
 - формирования актуальной базы данных измеряемых показателей материалов;
 - подготовки данных для аналитической системы оценки качества поставок;
 - оценки и прогнозирования изменения качества материалов при поставке и хранении.

Реализация

Серийным конструкторским бюро (СКБ) и службой специализированных лабораторий (ССЛ) были сформированы основные технические требования к системе и в течение 2016 года автор данной статьи занимался разработкой и внедрением программного комплекса

формирования электронных заказов и учета результатов анализов материалов.

Программы выполняются на ПК, подключенных к корпоративной сети комбината. База данных SQL хранит все введенные заказы и протоколы анализов. Программный комплекс состоит из нескольких программ.

Ввод заказов на анализ

Контролер выбирает имеющийся на складе материал, переходит к форме ввода заказа, где указывает вид контроля (входной, послегарантийный, периодический) и вводят другие необходимые данные. После этого заказ должен быть утвержден контрольным мастером, распечатан и вместе с приложенным к нему образцом отправлен в соответствующую лабораторию.

На основании выполненного заказа, контролер выносит вердикт о годности материала, возможности выдачи или продлении гарантийного срока.

Справочник показателей материалов

В программу-справочник вводятся сведения, по каким показателям можно проверять конкретный материал, и каковы ограничения по ГОСТ и внутренним технологическим процессам. Здесь же содержится информация, в какой лаборатории может быть проведен тот или иной анализ.

Обработка заказов на анализ

При поступлении образцов в лабораторию, ответственное лицо в лаборатории принимает соответствующий заказ и распределяет работы между исполнителями. Результаты произведенных испытаний вводятся в программу, формируется протокол испытаний. Автоматически учитываются ограничения проверяемых показателей и выносится вердикт о соответствии образца материала требованиям нормативной документации.

Сформированный протокол должен быть утвержден начальником лаборатории, а в случае брака еще и начальником ССЛ. Когда все протоколы из всех лабораторий по заказу утверждены, заказ считается выполненным, а результаты испытаний становятся доступны контролерам в программе «Ввод заказов на анализы».

Контроль качества материалов

Конструктор из СКБ следит за изменениями значений показателей материалов, актуализирует информацию о ГОСТ, указывает

технологические ограничения для материалов, формирует карты анализа материала (КАМ) в случаях брака. Руководитель группы принимает решения по КАМ, распределяет материалы между конструкторами.

Результат

Применение комплекса программ позволило достичь следующих положительных результатов:

- быстрое формирование электронного заказа;
- заказ появляется в сети еще до поступления образца в лабораторию, что позволяет оптимально планировать и распределять работы по исполнению заказов;
- простое заполнение протокола с автоматической проверкой вводимых значений на ограничения по требованиям на материал;
- значительное уменьшение количество ошибок: 1) не нужно разбирать рукописный почерк, 2) многие текстовые поля заполняются автоматически, 3) все бланки выводятся в стандартизованном виде;
- накопление результатов в базе данных и быстрый доступ к ним, если нужно разобраться в каком-либо случае брака;
- как общий результат – уменьшение времени на прохождение анализа по всей цепочке от заказа до фиксации результата.

Эффективный контроль

Система позволяет, основываясь на точных данных, прогнозировать изменение качества материала при его поставке, хранении и использовании. Можно делать выводы о добросовестности поставщиков, либо об условиях хранения. Таким образом, возрастает эффективность хранения материалов, выгода от закупок от определенных поставщиков, а также появляется возможность обосновывать увеличение гарантийного срока хранения материалов и специальных изделий (что в том числе приводит к увеличению прибыли).

Внедрение программного комплекса также позволило повысить эффективность работы подразделений, связанных с проведением анализов материалов, и улучшить координацию усилий в достижении стратегических целей предприятия.

Внедрение системы 5С в непроизводственных помещениях подразделений института

С.Л. Панышев
ФГУП «ФНПЦ НИИС Ю.Е. Седакова»

Система 5С – совокупность организационно-технических мероприятий по рациональной организации рабочих мест, обеспечивающей безопасность работы, рост производительности труда, повышение качества продукции. Система получила название от первых букв пяти слов: сортируй, соблюдай порядок, содержи в чистоте, стандартизируй, совершенствуй.

С реализации системы 5С, как правило, начинается внедрение производственной системы на любом предприятии. ФГУП «ФНПЦ НИИС им. Ю.Е. Седакова» также пошел по этому пути и в 2011 году начал внедрение Производственной системы Росатома с реализации системы 5С, в первую очередь – на рабочих местах в цехах, т. е. в производственных подразделениях.

На этапе внедрения системы 5С в производственных подразделениях было учтено как рациональное размещение инструментов и оснастки на каждом рабочем, так и общее расположение оборудования в цехах.

В 2015 году руководством института было инициировано внедрение системы 5С во всех непроизводственных подразделениях института, для чего был открыт ПСР-проект «Внедрение системы 5С в непроизводственных помещениях подразделений института». Целью проекта стала средняя оценка функционирования системы 5С к концу 2016 года на уровне 3,8 балла.

Проект был разбит на две части: на первом этапе внедрение системы 5С проводилось на



Рис. 1. Размещение оснастки в механообрабатывающем цехе



Рис. 2. Размещение оборудования на заготовительном участке «до» и «после»

трех пилотных площадках – офисное, конструкторское и техническое подразделение. Опыт внедрения системы 5С на пилотных площадках был использован при разработке методических рекомендаций и последующего обучения сотрудников, ответственных за внедрение 5С, которых назначили в остальных непроизводственных подразделениях института. До середины 2016 года шло обучение сотрудников, а также разработка решений по обозначению рабочих мест сотрудников в кабинетах института. Начиная со второй половины 2016 года, в институте началось масштабное внедрение системы 5С во всех непроизводственных подразделениях.

По итогам внедрения системы 5С в 2016 году средний оценочный балл по институту составил 3,85. По итогам защиты результатов у заказчика проект признан реализованным. Экономический эффект от внедрения системы 5С в непроизводственных подразделениях института составил 13 770 тысяч рублей.

На 2017 год директором института поставлена задача поднять средний балл функционирования системы 5С по институту на уровень 4,2 балла. Для оценки функционирования системы 5С был разработан график внутренних аудитов со стороны группы развития ПСР, а также система мотивации для подразделений, достигших значительных успехов в области функционирования системы 5С.



Рис. 3. Таблички на рабочий стол и дверь. Организация хранения папок с документами



Рис. 4. Награда лучшему подразделению по итогам аудита системы «5С»

Стандартизация как инструмент Производственной системы Росатома (ПСР)

Л.В. Бердникова
ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»

Производственная система Росатома (ПСР) – это культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов для обеспечения конкурентного преимущества на мировом рынке. Одним из проектов ПСР является система «5С». Она устанавливает пять шагов, выполнение которых направлено на создание оптимальных условий выполнения операций, поддержание порядка, чистоты, аккуратности, экономии времени и энергии для повышения производительности, предотвращения несчастных случаев, снижения загрязнения окружающей среды.

Теоретическая часть

Самым творческим и одновременно сложным этапом является четвертый этап системы – стандартизация. Цель его – зафиксировать достижения от реализации предыдущих шагов системы «5С», оформить в виде стандартов наиболее эффективные решения, найденные в ходе реализации предыдущих шагов с использованием визуального контроля.

Наличие стандарта облегчает анализ проблем, упрощает процесс проверки (в т. ч. и внешнего аудита). Стандартизация в системе 5С проводится в целях:

- обеспечения визуального контроля рабочего процесса и состояния окружающей среды;
- реализации систематического выполнения принятых правил и преемственность в их выполнении;
- легкого и наглядного осуществления профилактического осмотра рабочих мест, оборудования и технических средств, входящих в их состав, а также оборудования и технических средств общего пользования;
- безопасности проводимых работ.

Стандарты на рабочем месте, выпущенные в ходе реализации четвертого шага, не исключают, а дополняют рабочие стандарты. Они могут касаться как общих работ, так и быть только для работы определенного сотрудника.

Стандартизировать можно любой периодически повторяющийся процесс. Например, преимуществом наличия стандарта рабочего места является быстрая и успешная адаптация новых сотрудников (рис. 1). А также при его помощи легче выявить существующие проблемы, проанализировать их и поддержать качество продукции.

Исполнение стандарта корпоративного стиля предприятия и отрасли также имеет важное значение. Помимо прямого назначения, в случае исполнения этого стандарта



Рис. 1. Стандарт рабочего места



Рис. 2. Стандарт сдачи дел перед отпуском

улучшаются такие показатели как вовлеченность сотрудника и улучшение условий труда за счет применения дизайнерских решений.

Помимо прямых рабочих обязанностей, существует ряд дополнительных операций, проводимых каждым сотрудником предприятия. Например, ежегодно каждый сотрудник перед уходом в отпуск сталкивается с проблемой нехватки времени. Для того чтобы последовательно выполнить все рабочие обязанности, передать дела и подготовить работу на время отпуска, целесообразно ввести стандарт сдачи дел (рис. 2). Тем самым сотрудник сразу приступает к последовательному выполнению

действий и минимизирует потерю времени на «вспоминание» дел.

Помимо визуализации собственных процессов, выработанные стандарты и инструкции возможно тиражировать на всё предприятие посредством оформления отчета о внедрении предложения по улучшению (рис. 3).

Ключевым вопросом ПСР является эффективность. Введение стандартизации в рамках рабочего процесса приводит к минимизации потери времени и способствует повышению качества работы, тем самым повышается эффективность как отдельного работника, так и группы сотрудников в целом.

Отчет о внедрении предложения по улучшению			
ФГУП ФНПЦ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова»			
Подразделение: группа развития ПСР, 2007			
Место применения: группа развития ПСР		Дата подачи: 07.08.2017 г.	Дата принятия: 07.08.2017 г.
Направление усовершенствования: Организация работы сотрудников		Автор (ФИО, подпись): Бердникова Л.В.	Рег. № 199-2007-198
До улучшения		После улучшения	
(описание в эскизе)			
Дополнительно		Результат организационной эффективности	
Порядок работы на совещании, в индивидуальном записке и не организованный процесс		Систематизация работы, выведение единых, согласованных с определенной периодичностью действий с целью их постоянного выполнения	
Полученный эффект		Затраты на внедрение улучшения	
В физ. величинах: - В качественном выражении: -		Начальник подразделения: Экономист подразделения СОГЛАСОВАНО: Специалист группы развития ПСР	

Рис. 3. ППУ по введению в работу инструкции по списанию МТР.

Концепция бережливого производства «Опыт – Идеи – Реализация»

**М.С. Уваров, А.В. Павлинов,
Н.Н. Мазуров
ПАО «МСЗ»**

Производственная система Росатома – это культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов для обеспечения конкурентного преимущества на мировом уровне.

Цитирую слова гендиректора Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачёва: «Внедрение Производственной системы – важное и нужное дело, оно позитивно отражается на экономике наших предприятий и культуре безопасности. Считаю, что нам нужно поддерживать в отрасли все лучшие практики, которые уже удалось наработать».

Цель данной работы – представить опыт, идеи и результаты внедрения бережливого производства на ПАО «МСЗ» (в цехе №52 – изготовителе составных частей на сборку ТВЭЛ и комплектующих изделий ТВС), используя инструменты ПСР.

Продукция цеха №52 отд. №1: Одной из основных номенклатур, выпускаемых цехом №52, являются дистанционирующие решетки (ДР) для реакторов типа РБМК, ВВЭР-440, 452, 1000, УАЛ. ДР, предназначенные для дистанционирования твэлов и твэглов в пучке ТВСА и поддержания урано-водного баланса ТВС и закрепления ТВЭЛ в ТВС. ДР представляют собой поле ячеек, сваренных между собой и с секторами обода. Пилотным участком внедрения бережливого производства в цехе №52 была выбрана производственная линия по изготовлению дистанционирующих решеток типа ВВЭР-440.

Проблемы текущего состояния производства:

1. Длительное время протекания процесса на производственных участках.
2. Высокий уровень незавершенного производства (НЗП) заказа ВВЭР-440 на участке «склад-склад».
3. Неэффективная система взаимодействия между цехами.
4. Несбалансированная загрузка операторов.
5. Отсутствие потока единичных изделий (работа партиями).
6. Отсутствие организации производства на принципах тянущей системы.

Направления решений:

1. Уменьшение объемов партий. Сокращение времени переналадок. Исключение доработок.
2. Исключение перепроизводства. Поставка комплектующих под суточную потребность.
3. Выравнивание поставок и потребности. Оперативное и совместное решение проблем.
4. Выдача сменного задания. Ведение почасового производственного анализа.
5. Организация производства и поставок продукции потребителю комплектами под его потребность.
6. Производство точно и вовремя качественной продукции по минимальной себестоимости.

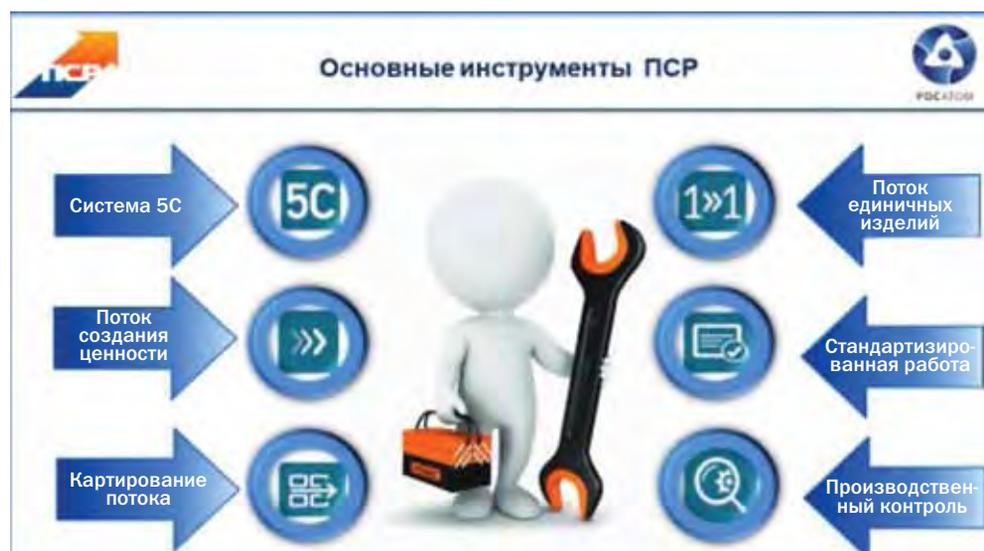


Рис. 1. Основные инструменты ПСР



Рис. 2. График комплектного запуска и отгрузки потребителю

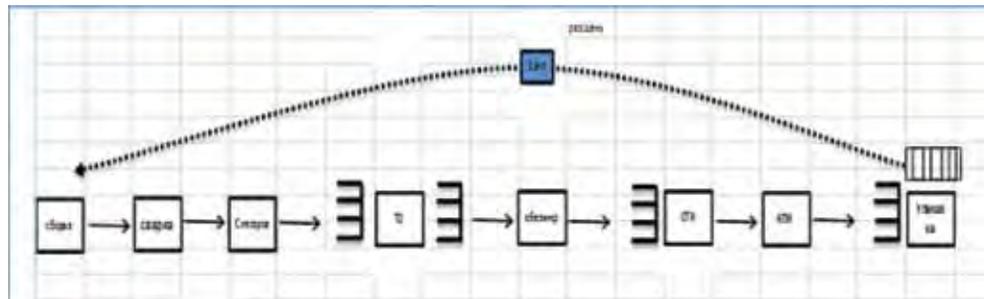


Рис. 3. Работа по заявкам на участке «Упаковка-Сборка/Сварка»

Организация работы по принципам ТС: а) работа комплектами под потребность цеха потребителя, визуальный оперативный ПК; б) организация работ на участках по заявкам на производство; в) организация работ на принципах потока единичных изделий; г) применение универсальных циркониевых заявок, позволяющих проводить обезжиривание, не отделяя их от продукции, соблюдая тем самым идентификацию; д) разработка методики по расчету коэффициентов использования материалов на ДР и ячейках.

Внедрение ПСР на участках изготовления ДР ВВЭР-440 позволило сократить НЗП и ВПП, оптимизировать процессы производства и достичь поставленных целей:

- снижение НЗП в потоке с 7188 до 4466 штук ДР;
- снижение ВПП с 81,7 до 50,7 дня;

- повышение процента выхода в годное с 99,1 до 99,6 %;
- сокращение НЗП трубы на складе цеха №52 с 60 до 30 дней;
- внедрение на долговременной основе системы мгновенного визуального контроля;
- повышение эффективности работы всего, что окружает производственную площадку.



Рис. 4. Ци́ркониевые заявки

Предприятие	Город	Страница
Атомстройэкспорт, группа компаний	Москва	7
Атомпроект, АО	Москва	24
ВМП-Нева, НПП, ООО	Санкт-Петербург	21
ВНИИА им. Н.Л. Духова, ФГУП	Москва	30
Гирооптика, АО	Санкт-Петербург	49
Горно-химический комбинат, ФГУП	Железногорск	39
Институт «Оргэнергострой», АО	Москва	18
Институт реакторных материалов, АО	Заречный	28
ИСС им. академика М.Ф. Решетнева, АО	Железногорск	48
Исток им. А.И. Шокина, НПП, АО	Фрязино	46
Кельвион Машинпэкс	Москва	3
Комбинат «Электрохимприбор», ФГУП	Лесной	52
Курчатовский институт, НИЦ	Москва	32
Машиностроительный завод, ПАО	Электросталь	55
Маяк, ПО, ФГУП	Озерск	20, 3 обложка
НГТУ им. Р.Е. Алексеева	Нижний Новгород	12
НИИИС им. Ю.Е. Седакова	Нижний Новгород	36, 42, 53, 54
НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала, АО	Москва	26
НИЯУ МИФИ	Москва	41
Нововоронежская АЭС	Нововоронеж	14, 34
РТСофт, АО	Москва	27
РФЯЦ-ВНИИЭФ, ФГУП	Саров	40, 50
СКАН, ЗАО	Москва	44
Следящие тест-системы, ООО	Москва	16, 2 обложка
ЭКРА, НПП, ООО	Чебоксары	20, 4 обложка
ЭНПО СПЭЛС, АО	Москва	41
MSC Software	Москва	22



Внедрение нового транспортно-упаковочного комплекта ТУК-1410 в схему вывоза ОТВС реакторов ВВЭР-1000 на ФГУП «ПО «Маяк»

В 2016 году на ФГУП «ПО «Маяк» разработана программа испытаний транспортно-технологической схемы (ТТС) обращения с ТУК-1410 для транспортировки ОТВС ВВЭР-1000. В течение 2016 года была создана инфраструктура для новой ТТС (внутриобъектовый транспортер, траверсы, специализированная площадка, оснастка для расхолаживания). В декабре 2016 года проведено успешное «холодное» испытание ТТС обращения с ТУК-1410. В сентябре 2017 года прошли успешные «горячие» испытания на Балаковской АЭС и на ФГУП «ПО «Маяк» по загрузке, транспортировке и выгрузке ТУК-1410 ОТВС ВВЭР-1000.

Внедрение ТУК-1410 позволяет значительно расширить возможности транспортировки ОЯТ (перевозить топливо с высоким

стартовым обогащением и высоким выгоранием), что даёт возможность освобождения пристанционных бассейнов. Упрощается комплектование отправки (нет потребности компенсировать высокое стартовое обогащение и выгорание) ОТВС ВВЭР-1000. За счёт большей загрузки (18 ОТВС ВВЭР-1000) на 30% сокращается количество операций и, соответственно, количество ТУК. На 20% увеличивается скорость протекания погрузо-разгрузочных работ.

Успешное внедрение ТУК-1410 позволяет значительно повысить эффективность этапов транспортировки и утилизации ОЯТ, снизить себестоимость переработки и, как следствие, увеличить привлекательность переработки, что особенно важно с учётом перспективы



развития международного бизнеса Госкорпорации «Росатом», а именно, вывоза топлива с возводимых и проектируемых блоков зарубежных АЭС («Бушер», «Аккуя», «Эль-Дабаа»).

2017 год – юбилейный для Центрального института повышения квалификации работников атомной отрасли, с которым ПО «Маяк» давно и плодотворно сотрудничает.

Уважаемый Юрий Николаевич!

Уважаемые сотрудники и ветераны!

От имени коллектива Производственного объединения «Маяк» примите самые искренние поздравления с замечательной юбилейной датой – 50-летием со дня основания Центрального института повышения квалификации Госкорпорации «Росатом»!

Для каждого из нас день рождения – это прекрасный повод для того, чтобы оценить пройденный путь, успехи и неудачи, наметить для себя новые горизонты.

Центральный институт повышения квалификации – один из старейших учебных центров отрасли. С момента своего создания до сегодняшнего дня он является ведущим учебным центром в системе дополнительного специального образования, который находится на передовых позициях обучения сотрудников атомной промышленности России.

С производственным объединением «Маяк» Центральный институт повышения квалификации связывает многолетняя совместная работа. Международные контакты, обмен опытом, совместное решение актуальных проблем в области ядерной и радиационной безопасности – всё это важнейшие составляющие повседневной работы специалистов-атомщиков.

Нам особенно приятно выразить уважение ветеранам, стоявшим у основания Центрального института повышения квалификации и посвятившим все годы своего трудового пути атомной отрасли.

Желаю всем ветеранам и сотрудникам института здоровья и отличного настроения. Пусть для вас всегда будут открыты новые горизонты, исполняются задуманные планы и проекты.

Накопленный опыт и высокий профессионализм вашего коллектива – залог дальнейшего развития и приумножения ваших успехов!



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



СОХРАНЯЯ ЭНЕРГИЮ



ЭКРА

научно-
производственное
предприятие

ООО НПП «ЭКРА», 428020, ЧР,
г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 3.
Тел./факс: +7 (8352) 22-01-10, 22-01-30.
E-mail: ekra@ekra.ru,
www.ekra.ru