

Multi-D
engineering

Россия

RUSSIA

Atomic Project

Атомный проект



#31
2019

2019 ГОД — ГОД РОССИИ ВО ВЬЕТНАМЕ И ГОД ВЬЕТНАМА В РОССИИ

Е X P O



3-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

EXPO-RUSSIA VIETNAM

РОССИЙСКО-ВЬЕТНАМСКИЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ БИЗНЕС-ФОРУМ

R U S S I A

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ

- Энергетика
- Машиностроение
- Транспорт
- Телекоммуникации и связи
- Горнодобывающая промышленность
- Химическая промышленность
- Медицина
- Геология

- Сельское хозяйство
- Образование
- Высокотехнологичные и инновационные отрасли

■ Отдельным блоком на выставке представлены:
агропромышленный комплекс, сельскохозяйственная
техника, пищевая промышленность, товары народного
потребления.

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

- Российско-Вьетнамский межрегиональный бизнес-форум ■ биржа контактов
- круглые столы совместно с отраслевыми министерствами

V I E T N A M

WWW.ZARUBEZHEXPO.RU
facebook.com/zarubezhexpo
instagram.com/zarubezhexpo
#ExpoRussiaVietnam

ОРГКОМИТЕТ: ОАО «ЗАРУБЕЖ-ЭКСПО»
+7 (495) 721-32-36 | info@zarubezhexpo.ru
119034, Москва, ул. Пречистенка, 10

Атомный проект

ВЫПУСК ТРИДЦАТЬ ПЕРВЫЙ

Часть тиража данного выпуска предназначена для участников XXX Всероссийской научно-технической конференции «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики» («Нейтроника-2019») – 27-29 ноября, Москва

Atomic Project

ISSUE THIRTY ONE

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

Информационно-аналитический
журнал для специалистов
в области атомного
машиностроения

№ 31, ноябрь, 2019 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

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
1200 экз.
на бумажном и CD-носителях

Дата выхода в свет
10.11.2019 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

ДАТА В ИСТОРИИ

П. Чурухов. «Плавание во льдах – это вечный риск» 4

Медицинское обеспечение ледокольного флота 10

Кузница кадров для ледокольного флота 12

КОРИФЕЙ

«Если есть задача, значит, есть и ее решение» 14

СОБЫТИЕ

Добро пожаловать в Ханой! 18

«Нейтронике» – 30 лет 19

ПСР В ДЕЙСТВИИ

Проектное управление как тренд системы госуправления 20

Сотрудничество вместо конкуренции 21

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Т. Е. Сарпина. Разработка технологии изготовления коммутационных плат
на алюминиевых основаниях для приборов силовой электроники 22

С. В. Горохов, А. В. Негин, В. Е. Сергеев. Разработка технологии изготовления
магниторезистивных преобразователей с повышенной разрешающей
способностью для датчиков малых магнитных полей 24

Т. Е. Карнаева, Т. П. Любимова, Л. Н. Сучкова, А. В. Ковалев. Особенности разработки
технологии изготовления многослойных печатных плат с многоуровневыми
межсоединениями для применения в сверхбыстродействующих цифровых
устройствах со скоростями передачи данных до 10 Гбит/с 27

Редакционный совет журнала
«Атомный проект»

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

Седаков А. Ю. – первый заместитель директора РФЯЦ-ВНИИЭФ, директор филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ «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), академик Международной академии реальной экономики, к. э. н.

Петрунин В. В. – первый заместитель генерального директора-генерального конструктора АО «ОКБМ Африкантов», д. т. н.

Катин С. В. – научный руководитель филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», д. т. н.

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

Акимов Н. Н. – главный конструктор по АСУ объектами атомной энергетики и ТЭК филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова», д. т. н.

Скородумов С. Е. – главный конструктор промышленных реакторных установок АО «ОКБМ Африкантов», к. т. н.

Ивашкин Е. Г. – проректор по учебной работе Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева, к. т. н.

Хвойнов В. Н. – директор по маркетингу и коммуникациям филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю. Е. Седакова»

Леонтьев Н. Я. – начальник отдела научно-технического развития АО «Инжиниринговая компания «Атомстройэкспорт», к. э. н.

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. А. Куфтин, А. В. Иванов. О проблемах выбора критериев стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры к механическим воздействиям **30**

М. И. Быстров, С. И. Рысева, Т. В. Шапошникова. Цифровизация процесса запуска работы в производство **32**

А. И. Жилыева, И. С. Ушаков, А. А. Щенятская. Разработка сквозных технологических процессов в корпоративной информационной системе **34**

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Е. В. Треушников. Оптимизация документооборота в цехе теплообменного оборудования АО «ОКБМ Африкантов» **37**

С. В. Опарин, П. Е. Круглов. Оптимизация производственных процессов в заготовительном цехе производства АО «ОКБМ Африкантов» **40**

Ю. Т. Рязановская, Е. Л. Багрова, И. Г. Минайлова. Автоматизация процесса организации и обеспечения работ по проведению оценки соответствия продукции в форме приемки для АЭС на основе АС «Оценка соответствия» **42**

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

А. О. Ладыгин, В. И. Лесняк, Е. В. Сатулова. Монолитная интегральная схема широкополосного усилителя мощности диапазона 12 – 32 ГГц **44**

К. А. Насеткин, А. С. Пузанов. Влияние накопленного заряда на гетерограницах тонкопленочных полупроводниковых структур **46**

ЮБИЛЕЙ

Б. Фармаковский, А. Пылаев. Понять природу вещества **48**

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ **54**

«Плавание во льдах – это вечный риск»

Днем рождения отечественного ледокольного флота принято считать третье декабря 1959 года, когда был подписан акт госкомиссии о введении в эксплуатацию атомного ледокола «Ленин», ставшего первым в мире надводным судном с ядерной энергетической установкой. Но сама по себе эта дата довольно формальна. Атомный ледокол «Ленин» был заложен 17 июля 1956 года на Южном стапеле Адмиралтейского завода в Ленинграде и через полтора года, в декабре 1957 года, спущен на воду. 6 августа 1959 года на атомоходе был осуществлен физический пуск ядерного реактора и 12 сентября ледокол отправился на ходовые испытания. К 3 декабря 1959 года «Ленин» успешно завершил программу государственных испытаний, получил документы Росрегистра и, как говорят военные, встал в строй.

Первенец отечественного атомного флота создавался согласно принятому в ноябре 1953 года постановлению Совета Министров СССР № 2840-1203. К августу 1954 года правительство страны определилось с основными исполнителями, этапами и сроками работ по созданию ледокола – на это ушло девять месяцев. А с момента закладки уникального атомного ледокола на его постройку и многомесячные испытания потребовалось всего три с половиной года.

Генеральным проектировщиком атомохода было назначено ЦКБ-15 (ныне – ЦКБ



Вице-адмирал С. О. Макаров

«Айсберг»), а главным конструктором судна стал возглавлявший бюро Василий Иванович Неганов, выпускник корфака Ленинградского политеха, с тридцатых годов занимавшийся конструированием судов. Общее научное руководство проектом создания атомного ледокола было поручено академику Анатолию Петровичу Александрову, выдающемуся физику-ядерщи-

ку, имя которого теснейшим образом связано с атомной историей страны.

Ядерная энергетическая установка разрабатывалась под руководством Игоря Ивановича Африкантова, работавшего начальником и главным конструктором ОКБ завода № 92 в Горьком, известного ныне как ОКБМ Африкантов.

Примечательно, что ледокольное сотрудничество ЦКБ «Айсберг» и ОКБМ Африкантов, не сгинувших в пучине революционных трансформаций последнего десятилетия двадцатого века и активно развивающихся в новом столетии, продолжается и поныне. В настоящее время ЦКБ «Айсберг» является разработчиком перспективного атомного ледокола «Лидер», способного преодолевать арктический лед толщиной более четырех метров, а новейшую мощную атомную реакторную установку для «Лидера», РИТМ-400, создает ОКБМ Африкантов.

Рассказывая о создании отечественного атомного ледокольного флота, нельзя не сказать о том, что 1959 год дал жизнь атомной составляющей этого флота; ледокольная же его часть к тому времени имела свою, довольно давнюю историю. И не будь у страны этого уникального опыта арктического судоходства, вряд ли было бы возможно появление целой атомной ледокольной флотилии.

Первый в мире ледокол арктического класса назывался «Ермак», честь его создания также принадлежит нашим соотечественникам. «Ермак», способный преодолевать льды толщиной до двух метров, был построен в конце XIX века под руководством выдающегося русского флотоводца вице-адмирала Степана Осиповича Макарова на английской верфи на средства, выделенные министром финансов Российской Империи С. Ю. Витте. Вот интересная цитата Сергея Юлиевича:

«...по моей инициативе заказан ледокол «Ермак», ближайшей целью сооружения этого громадного ледокола была у меня та мысль, чтобы, с одной стороны, сделать судоходство в Петербурге и других важных портах Балтийского моря в течение всей зимы, но главным образом попытаться, нельзя ли пройти на Дальний Восток через северные моря, по северному побережью Сибири», – читаем мы размышления о том времени в «Избранных воспоминаниях» С. Ю. Витте, предвосхитившего все то, что в наше время известно как Северный морской путь. Но только к концу первой трети XX века стране удалось наладить регулярное движение «по северному побережью Сибири». И сегодня, более века спустя после столь дерзких помыслов российского министра финансов, страна вкладывает огромные средства в развитие именно этого транспортного коридора, создавая инфраструктуру на побережье Ледовитого океана и строя мощный атомный ледокольный флот.

Вернемся к истории первого арктического ледокола. Весной 1899 года «Ермак» отправил-





Атомный ледокол «Ленин»

ся в свой первый арктический поход, оказавшийся не особо удачным, потому как корпус судна, столкнувшись с настоящими льдами Северного ледовитого океана, не выдержал и дал течь. После модернизации носовой части ледокол летом 1901 года отправился в Арктику и подробнейшим образом исследовал самый северный архипелаг России – Землю Франца-Иосифа, находящуюся за 80-м градусом северной широты. До того в эти широты не заходило ни одно судно. Переживая революции и войны, «Ермак» верой и правдой служил стране на протяжении шести десятилетий. В конце 1962 года «Ермак» совершил свой последний поход в Арктику. Символично, что в порт приписки, в Мурманск, первый арктический ледокол возвращался в сопровождении первого атомного ледокола «Ленин».

Интересна история и второго арктического ледокола России, названного «Святогор» и создававшегося уже с учетом опыта эксплуатации «Ермака». «Святогор» был построен осенью 1917 года и на протяжении нескольких десятилетий, уже под флагом Советского Союза, оставался самым мощным арктическим ледоколом в мире. Именно этот ледокол, в 1927 году получивший новое имя «Красин», спас экспедицию Умберто Нобиле, дирижабль которого в 1928 году потерпел катастрофу севернее острова Шпицберген.

Как и «Ермак», ледокол «Красин» трудился во флотском строю многие годы: в 1972 году его вывели из ледокольной группы и, переоборудовав в научно-исследовательское судно, передали геологоразведке. Судьба оказалась благосклонна к «Красину». В отличие от первого в мире арктического ледокола «Ермак», безжалостно распиленного на металлолом, «Красин» в конце восьмидесятых годов был выведен из эксплуатации. Чудом не превратившийся в металлолом в девяностые, когда нувориши от приватизации распродавали все и вся без разбору, к началу двухтысячных годов ледокол обрел статус музея. Сегодня «Красин» пришвартован у набережной Лейтенанта Шмидта в Санкт-Петербурге, музей принимает до 40.000 посетителей ежегодно.

«ДЕДУШКА «ЛЕНИН»

Атомный ледокол «Ленин», также ставший музеем, стоит в районе Морского вокзала в Мурманске и является визитной карточкой туристической отрасли всего Кольского Севера. И вот любопытные данные. Если первый арктический ледокол «Ермак» прослужил более шестидесяти лет, второй «Святогор/Красин» –

более семидесяти, то на долю первого атомного ледокола пришлось всего-то три десятилетия службы: из эксплуатации его вывели практически одновременно с «Красиным», в 1989 году. Но и этого оказалось достаточно для того, чтобы мы сегодня могли называть первый атомоход «Дедушка «Ленин».

В девяностых годах с желающими сдать на металлолом уникальное судно, которое и у стенки причала требовало приличных средств на свое содержание, велась упорная борьба. «Ленина» отстоял общественный комитет, созданный для защиты ледокола по инициативе Бориса Макаровича Соколова, капитана атомохода. И лишь после того, как атомный ледокольный флот перешел в подчинение ГК «Росатом», а произошло это в 2008 году, «Ленин» был отбуксирован к морскому вокзалу Мурманска, где и началась его служба в качестве выставочного центра. В октябре 2018 года первый атомный ледокол был признан объектом культурного наследия федерального значения и получил официальное наименование: «Арктический выставочный центр «Атомный ледокол «Ленин», структурное подразделение ФГУП «Атомный флот» ГК «Росатом».

Но это – завершающий этап рабочей биографии первого атомного ледокола. Начинаясь же история «Ленина» в эпоху рева ракетных двигателей страны, рвущейся покорять космос: в 1957 году СССР удивил мир первым в мире искусственным спутником Земли, а в 1958 году страна уже отправляла ракеты к Луне. К тому времени, когда на «Ленине» был осуществлен физический пуск реактора, Советский Союз представил миру первые в истории человечества фотографии обратной стороны Луны.

Сам атомоход «Ленин» тоже был подобен космическому прорыву, он создавался и воспринимался в стране и мире как величайшее достижение науки и техники. Именно потому еще при постройке ледокола туда водили туристов, в том числе и иностранные делегации. На нем побывали и президент Финляндской республики Урхо Кекконен, и премьер-министр Великобритании Гарольд Макмиллан, и вице-президент США Ричард Никсон вместе с адмиралом ВМФ США Хайманом Риквером, куратором американской программы создания атомного флота. В целом за время строительства «Ленина» ледокол посетили более ста тысяч экскурсантов.

«Ленин» был выходом, порталом в арктический космос, при этом его называли «чудом промышленного дизайна». Для того времени это было непривычно роскошное судно: каюты на одного-двух человек были отделаны

карельской березой и кавказским орехом, на ледоколе работала сауна, была приличная библиотека, кинозал, музыкальный салон с роялем, находились отдельный салон для курящих и оснащенный по последнему слову медтехники поликлиника. Газеты тогда как о фантастическом достижении писали о том, что на атомном ледоколе «поддерживается искусственный климат» и работают «лампы дневного света», что для арктических путешествий было немаловажно.

«Ленин» не только ломал арктические льды, он, как и первый искусственный спутник Земли, взламывал пространство во время разгоравшейся холодной войны между США и СССР. Возглавлявший работы по созданию первой американской атомной подводной лодки адмирал ВМФ США Хайман Риквер, считающийся ныне отцом атомного флота США, побывав летом 1959 года на строительстве ледокола «Ленин», заверил американских сенаторов в том, что русские еще долго будут доводить его до ума. Он убедил всех, что Америка, где летом 1959 года был спущен на воду и достраивался первый грузо-пассажирский атомоход «Саванна», по габаритам схожий с нашим ледоколом, сумеет опередить Советский Союз и в этом престижном деле. «И в этом» потому, что первая советская атомная подводная лодка появилась почти на четыре года позже американской подлодки «Наутилус». Летом 1958 года, когда первенец советского атомного флота подлодка «Ленинский комсомол» вступила в строй и подняла флаг ВМФ, американская атомная подлодка «Наутилус» уже прошла подо льдом из Берингова пролива до Северного полюса. И до сих пор американские справочники с гордостью отмечают, что это был «первый корабль в истории человечества, прошедший эту точку Земли своим ходом». Но здесь надо уточнить, что своим ходом лодка прошла Северный полюс подо льдом, а первым в мире судном, достигшим Северного полюса в надводном положении, стал советский атомный ледокол «Арктика», и возможным это достижение стало лишь в 1977 году.

Словом, в истории с надводными атомоходами первенство оказалось за нами. Адмирал Риквер, которого, кстати, в начале XX века родители в детском возрасте увезли из Российской Империи, эмигрировав в США, просчитался. «Саванна» много лет проходила опытную эксплуатацию и в коммерческое использование была передана лишь в 1965 году. К тому времени «Ленин», первое в мире надводное судно с ядерной энергетической установкой, с появлением которого более чем в три раза увеличилась продолжительность навигации в Арктике, уже имел внушительный послужной список. Ледокол за сто дней своей первой арктической навигации 1960 года провел 92 транспортных судна, покрыв 10 тысяч миль, из которых более семи тысяч – в тяжелых ледовых условиях Карского моря и моря Лаптевых. А осенью 1961 года впервые в истории исследования Арктики ледокол «Ленин» произвел доставку и высадку зимовщиков на льдину севернее острова Врангеля, обеспечив организацию дрейфующей полярной станции «Северный полюс-10» – до сих пор плавучие лаборатории высаживали на льдины с самолетов.

В истории создания «Ленина» и нашего противоборства с американцами за первенство в атомной сфере есть забавный эпизод, как вице-президент Ричард Никсон и адмирал Хайман Риквер, посещая атомоход, помогли «Адмиралтейской верфи», строившей ледокол. Известный мурманский журналист Владимир Михайлович Блинов в 2009 году выпустил книгу «Ледокол «Ленин». Первый атомный», в



Фидель Кастро на ледоколе «Ленин»

которой приводит воспоминания очевидцев, связанные с посещением ледокола высокопоставленными американцами:

«Ленин» тогда стоял у стенки, которую и причалом-то назвать было нельзя. Мерзкая картина — огрызки свай у берега на Неве. Грузы на борт передавались кранами, правда, были переброшены широченные трапы... Однажды мы возвращались на ледокол из города и остолбенели: рядом с «Лениным» заработал настоящий строительный вулкан. Грохотали непрерывно шевелившиеся экскаваторы, бульдозеры, краны — к причалу было просто не подойти... И за три дня произошло чудо. Были забиты новые сваи, заложена арматура, причальную площадь залили бетоном. Не будь я свидетелем, ни за что бы не поверил, что такое возможно. Причал длиной двести метров возводили день и ночь и построили. А ведь «Адмиралтейский завод» пробивал его десятки лет, да все денег не находилось».

Надо сказать, что это очень советская история: сами-то как-нибудь перетерпим лужи, грязь и неустроенность, а вот иностранцам надо показаться с лучшей стороны. И поныне, в постсоветской России, мы от этой показушности вовсе не избавились.

Но здесь уместно небольшое отступление. В 1959 году вице-президент Ричард Никсон, будущий президент США и фигурант Уотергейтского скандала, приезжал в СССР не только за тем, чтобы посмотреть на строящийся атомный ледокол и вместе со своим адмиралом убедиться, что на «Ленине» — не картонный муляж ядерной силовой установки коммунистических пропагандистов. Тем летом в Сокольниках впервые проходила американская национальная выставка «Промышленная продукция США», где советским людям представили газонокосилки, посудомоечные машины, кухонные комбайны, газированный напиток «Пепси-кола», туфли на шпильках, море косметики и прочие достижения капиталистического мира, неведомые советским гражданам. Ричард Никсон и Никита Хрущев открывали эту выставку и затем, рассматривая ее экспонаты, невольно вступили в перепалку, получившую у политологов определение «кухонных дебатов».

«Америка 150 лет существует, и вот ее уровень. Мы 42 года существуем. Нам еще семь лет, и мы будем на таком же уровне, как Америка, а потом пойдем дальше, вперед», — сказал тогда Никита Хрущев, пообещав Никсону «помахать ручкой» при обгоне.

СВЯЗЬ ПОКОЛЕНИЙ

Убедительно «помахать ручкой», как мы знаем сегодня, и через шесть десятилетий не особо получается. Но дело не в этом. Хрущев, отсчитывая историю страны с 1917 года, не понимал или не хотел признать, что огромная часть технического, научного капитала унаследована Советским Союзом от Российской Империи, что знания, профессиональные навыки и научные школы бережно сохранены и переданы советским людям поколениями инженеров и профессоров старой российской школы. И разлом, случившийся в 1917 году, снесший Империю и породивший многолетнюю братоубийственную войну, эти основы человеческого капитала извести не смог.

Руководитель проекта создания атомного ледокола «Ленин» Анатолий Петрович Александров, которого уже в позднесоветское время стали называть «атомным маршалом», рассказывал, что свою первую научную работу написал в период учебы на физмате Киевского университета, где на него и обратил внимание академик А. Ф. Иоффе, переманивший талантливый молодой физик к себе в Ле-

нинград в организованный там ЛФТИ. Было это в 1930 году. А ранее, в 1925 году, Абрам Федорович Иоффе переманил к себе из Азербайджанского политеха Игоря Курчатова. Как известно, сам Иоффе докторскую диссертацию защитил еще в 1915 году, будучи профессором Императорского Санкт-Петербургского политехнического института. Школу Иоффе, по инициативе которого в начале двадцатых годов и был создан Ленинградский физтех, прошли не только Александров и Курчатов, но также будущие академики Ю. Б. Харитон, А. И. Алиханов, Л. А. Арцимович, И. К. Киоин, нобелевский лауреат П. Л. Капица и многие другие, чей вклад в развитие атомной отрасли и в целом нашей страны неосценим.

Такова преемственность человеческого капитала, и именно этот капитал, а не нефть, газ и прочие углеводороды есть национальное достояние страны. К нашему рассказу об атомном ледоколе «Ленин» эта преемственность имеет самое непосредственное отношение.

Первым капитаном атомохода в марте 1957 года был назначен Павел Акимович Пономарев, еще в 1915 году с успехом окончивший Кемскую мореходную школу, что в Карелии, а затем Архангельское мореходное училище. Примечательно, что в биографии П. А. Пономарева есть служба капитаном на ледоколе «Ермак». А в 1928 году, когда ледокол «Красин» спасал экспедицию Умберто Нобиле, Павел Пономарев служил на «Красине» старшим помощником капитана. В 1932 году Павел Акимович был назначен капитаном ледокола «Красин» и затем именно он впервые в истории полярных плаваний вышел в Арктику в зимнее время.

Получивший весной 1960 года свой третий Орден Ленина за успешную работу по созданию и вводу в эксплуатацию первого в мире атомного ледокола, П. А. Пономарев, проведя лишь одну арктическую навигацию в качестве капитана атомохода, сумел впервые в истории вписать в летопись освоения Арктики целый ряд достижений. В Государственном архиве Мурманской области удалось найти вот такую оценку первой навигации ледокола:

«Высокое мастерство работы во льдах проявил экипаж ледокола «Ленин» при проводке речных судов через пролив Вилькицкого. Операция проводки совершенно неприسوبленных к ледовому плаванию судов была



Капитан ледокола «Ленин» Б. М. Соколов и председатель Академии наук А. П. Александров



**Первый капитан ледокола «Ленин»
П. А. Пономарев во время первого
арктического похода**

осуществлена впервые в истории арктического мореплавания в предельно поздние сроки, в условиях интенсивного ледообразования».

А Борис Макарович Соколов, работавший дублером П. А. Пономарева с момента ввода «Ленина» в эксплуатацию, был назначен капитаном атомного ледокола осенью 1961 года. Когда Пономарев, без малого полвека отдавший российскому флоту, передавал штурвал атомного ледокола Соколову, тому было всего 34 года. И свой первый Орден Ленина Соколов получил в 1963 году за первую же арктическую навигацию, успешно проведенную в качестве капитана ледокола «Ленин». Высадка полярников дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-10» на льдину в Чукотском море севернее острова Врангеля, о которой мы упоминали, проводилась как раз под руководством Б. М. Соколова. Это была сложнейшая задача, реализованная впервые в условиях полярной ночи, высоких северных широт и тяжелых льдов. Ледокол высаживал экспедицию на паковую льдину толщиной более трех метров, где полярники обеспечивались всем необходимым на два года. Только соларики надо было запасти более 500 тонн, а это, чтобы наглядно представить, более восьми полновесных железнодорожных цистерн.

Полярная станция была открыта 17 октября 1961 года – в день начала работы XXII съезда КПСС, сразу после завершения которого Б. М. Соколов был официально назначен капитаном ледокола «Ленин» и затем отработал на этой должности около сорока лет.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 2 апреля 1981 года за выдающиеся производственные достижения Борису Макаровичу Соколову было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением Ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот». Создатели первого в мире атомного ледокола «Ленин», научный руководитель проекта академик А. П. Александров, главный конструктор ледокола В. И. Неганов и главный конструктор реакторной установки И. И. Африкантов свои золотые Звезды и звание Героев Социалистического Труда получили еще в 1960 году.

В истории первого атомного ледокола «Ленин» столько интересного, что можно написать (и уже написано!) тома. Подсчитано, что за три трудовых арктических десятилетия ледокол участвовал в 26 навигациях, прошел 654.400 морских миль, в том числе 560.000 сквозь льды. Если это расстояние перевести в привычные сухопутному народу километры, получится, что за 30 лет «Ленин» прошел более 1,2 миллиона километров, а это – тридцать кругосветок строго по экватору. Еще один примечательный рекорд «Ленина»: навигация 1977-1978 годов на ледоколе продолжалась непрерывно 390 суток!

Понятно, что были поломки, аварии и связанные с этим ремонты. Одна из наиболее значимых реконструкций ледокола произошла в конце шестидесятых годов. После интенсивной эксплуатации в течение шести навигационных лет в трубопроводах реакторной установки обнаружилась течь, что в итоге привело к необходимости замены всей ядерной энергетической установки ледокола. В феврале 1967 года Совет Министров СССР принял решение о полной замене установки. На это решение, инициированное Минсредмашем, повлияла не только необходимость устранения неполадок действующей энергетической установки, но и то, что за десять лет эксплуатации судовых ядерных установок подводных лодок и реакторов атомных электростанций в стране были созданы более совершенные ядерные энергетические системы.

Изначально на атомном ледоколе «Ленин» в качестве источника энергии была принята атомная паропроизводящая установка АППУ ОК-150. В состав установки входили три ядерных реактора, четыре турбогенераторных агрегата, каждая турбина которых соединялась с двумя генераторами постоянного тока. Словом, это была довольно сложная по составу и проблемная в плане ремонтпригодности установка.

В конце шестидесятых годов в ОКБМ под руководством И. И. Африкантова создали установку ОК-900, технический проект которой был разработан для новых линейных ледоколов второго поколения типа «Арктика». Такая установка блочного типа, в которой реактор, насосы и парогенераторы имели отдельные корпусы и соединялись друг с другом короткими патрубками типа «труба в трубе», и была установлена на ледокол «Ленин» в 1970 году. Установка надежно работала вплоть до остановки реактора ледокола «Ленин» и показала высокую эффективность использования ядерной энергии на судах ледокольного флота.

Главный и наиболее значимый итог эксплуатации первого в мире надводного судна с атомной энергетической установкой именно в этом. «Ленин» не только подтвердил возможность создания ядерных судовых установок, но и продемонстрировал их безопасность и высокую эффективность. Как показала дальнейшая история гражданского атомного флота, именно мощные линейные атомные ледоколы демонстрировали наиболее ощутимые преимущества

перед традиционными дизель-электрическими судами, в том числе по экономическим показателям. Ядерная энергетическая установка позволяла длительное время работать на полной мощности, давала ледоколу возможность неограниченного района плавания и, что тоже важно при плавании во льдах, предоставляла возможность выбора осадки с учетом ледовых условий и глубины трассы – осадка атомного ледокола не зависела от наличия на борту запасов топлива.

ПОКОРЕНИЕ ПОЛЮСА

По итогам первых трех лет эксплуатации атомного ледокола «Ленин», показавших исключительно положительные результаты и подтвердивших важную народнохозяйственную роль ледокольного флота как непосредственно в Арктике, так и в развитии отдаленных районов Крайнего Севера, правительством страны были приняты постановления, предусматривающие проектирование и постройку серии новых атомных ледоколов.

По своим габаритам первый атомный ледокол нового проекта 10520, названный «Арктика», принятый в эксплуатацию в апреле 1975 года, не особо отличался от ледокола «Ленин». Ледокол новой серии был на 14 метров длиннее, на пару метров шире и имел большее водоизмещение. Но главное отличие нового ледокола было в судовой ядерной энергетической установке, она была мощнее на 70 процентов. «Арктика» превосходила «Ленина» в полтора раза по энерговооруженности и удельной тяге. Это обеспечивала атомная водо-водяная паропроизводящая установка ОК-900, разработанная в ОКБМ.

Разработчиками были внесены существенные изменения и в конструкцию, и в оснащение судна. Все эти новации вкупе с новой энергетической установкой позволили «Арктике» уже в 1977 году достичь Северного полюса. Выйдя из Мурманска 10 августа, ледокол через неделю был на полюсе. А всего за этот поход, длившийся 13 суток, «Арктика» прошла 3852 мили, из них 1300 миль – во льдах.

Надо понимать, что подобная экспедиция – не просто рекордный поход и не только эксперимент по проверке надежности работы всех систем ледокола в экстремальных режимах. Это заявка на доминирование в Арктике,



Атомный ледокол «Советский Союз»

что, как мы знаем, и по сей день актуально для страны.

Руководил экспедицией министр морского флота СССР Тимофей Борисович Гуженко, ярый сторонник атомных судов и арктического судоходства, организовавший эту небывалую экспедицию для демонстрации возможностей атомного ледокольного флота, а также для того, чтобы убедить руководство страны в необходимости вложения средств в развитие атомного ледокольного флота. О важности экспедиции говорит и то, что поход атомного ледокола к полюсу обеспечивали корабли ВМФ, а противолодочное охранение осуществляла большая атомная подводная лодка К-438 проекта 671, построенная в начале семидесятых годов.

«Плавание во льдах — это вечный риск, — писал позже в своих воспоминаниях об этой уникальной экспедиции капитан ледокола Юрий Сергеевич Кучиев, которого после удачного похода «Арктики» на Северный полюс современники сравнивали с Юрием Гагариным. — Могут произойти тысячи неожиданностей: сломаться конус гребного вала, отвалиться винт. В этом случае ледокол лишается трети мощности. Может сложиться ситуация, когда, затертый льдами, он должен будет пытаться вырваться из ледового плена. Поэтому на борту был аварийный запас продовольствия, чтобы хватило всему экипажу, примерно на 8 месяцев. Было все необходимое, чтобы построить аэродром. Особое беспокойство вызывали ажурные винты диаметром 5,7 метра. Но даже в самые тяжелые моменты плавания «Арктики» они выдержали. С отдельными скоплениями многолетнего льда мы встречались во время плавания на «Ленине» и на «Арктике» до этого похода, но ледяные поля толщиной в несколько метров — такие нам преодолевать не приходилось...»

Ледокол пробыл на полюсе 15 часов, экспедиция реализовала весь комплекс намеченных исследований. Через три недели после возвращения в порт приписки из этого похода, продемонстрировавшего миру революционные достижения советских мореплавателей, атомный ледокол «Арктика» был награжден орденом Октябрьской Революции. За выдающиеся заслуги в подготовке и осуществлении экспериментального рейса атомного ледокола «Арктика» на Северный полюс и проявленные при этом мужество и героизм министру морского флота СССР Т. Б. Гуженко было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением Ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот». Весь экипаж ледокола, около двухсот участников высокоширотной экспедиции, а также большая группа специалистов, обеспечивавших экспедицию, были также награждены орденами и медалями. Капитан ледокола Юрий Кучиев, главный инженер-механик Олег Пашнин, старший мастер атомной паропроизводящей установки Фидус Асхадуллин также стали Героями Социалистического Труда.

Второй ледокол проекта 10520, атомоход «Сибирь», вступил в строй в декабре 1978 года. И уже в первую свою навигацию стал участником экспериментального похода. Для проверки возможности высокоширотного плавания и его экономической целесообразности навигация по Северному морскому пути, которую и открывал ледокол «Сибирь», была организован на два месяца раньше обычного. В период с 26 мая по 13 июня ледокол провел из Мурманска до Берингова пролива севернее архипелагов Новая Земля, Северная Земля и Новосибирских островов дизель-электроход «Капитан Мышевский», следовавший с гру-



Боевой ледокол «Иван Папанин»



Макет атомного ледокола «Лидер»

зом в Магадан. Во время похода суда прошли места, где в это время года ранее не бывало ни одно транспортное судно. Впервые в истории судно под проводкой ледокола совершило сквозной рейс по Северному морскому пути за два месяца до начала арктической навигации. При этом рейс продолжался всего 18 суток. Надо отметить, что впервые в истории отечественного судоходства в этом рейсе использовались фотоснимки ледовых полей, принятые судами экспедиции с советских искусственных спутников Земли.

И вот факты достижений. Благодаря активной работе ледокольного флота за десятилетие с начала 1970 года объем грузоперевозок в зимний период увеличился почти в 40 раз, впервые в истории грузы в Магадан доставлялись даже в очень холодный зимний период конца семидесятых годов.

Основываясь на опыте эксплуатации ледоколов «Арктика» и «Сибирь», а также в силу принятых в 1981 году Международной морской организацией документов, ужесточивших требования к безопасности атомных торговых судов, в конструкцию линейных атомных ледоколов проекта 10520 оперативно были внесены изменения. И в 1981 года на Балтийском заводе был заложен новый ледокол, получивший название «Россия». В 1985 году головной ледокол модернизированного проекта, получившего индекс 10521, был принят в состав флота, став третьим ледоколом типа «Арктика». На нем была установлена более совершенная реакторная установка, ледокол был оснащен системой пневмообмыва корпуса, было также дополнительно установлено большое количество новых, в том числе опытных, устройств и механизмов.

Спустя четыре года, в декабре 1989 года, был сдан атомоход «Советский Союз», а практически в канун распада СССР, в октябре 1992 года, встал в строй ледокол «Ямал».

К периоду распада Советского Союза в стране насчитывалось семь линейных атомных ледоколов; «Ямал», ставший пятым в серии «Арктика», завершил формирование советского атомного ледокольного флота.

НОВОЕ ОСВОЕНИЕ АРКТИКИ

Следующий отечественный ледокол был сдан в эксплуатацию лишь спустя 15 лет, в 2007 году, уже в новой России. Его постройка, пришедшаяся на время распада СССР и разруху девяностых годов, заняла в общей сложности 18 лет. Ледокол, считающийся сегодня самым крупным в мире, был заложен в октябре 1989 года под именем «Урал». Спустя четыре года ледокол был спущен на воду, но денег у страны, стоящей на пороге гражданской войны, не было. Строительство ледокола было заморожено. В 1995 году ледокол получил новое имя — «50 лет Победы», но это не улучшило ситуацию с финансированием. Средства на достройку ледокола были выделены лишь в 2003 году; спустя еще четыре года, в марте 2007-го, атомоход «50 лет Победы» был сдан Мурманскому морскому пароходству, и на нем подняли Государственный флаг Российской Федерации.

И вот новации нашего времени.

На ледоколе «50 лет Победы» с 2008 года доставляют на Северный полюс туристов. Операторы, занимающиеся продажей этих экзотических туров, сообщают, что путешествие занимает около 11 суток, атомоход посещает острова архипелага Земли Франца-Иосифа, где можно увидеть огромные птичьи базары, белых медведей, моржей, китов, уникальные камни и другие удивительные природные богатства. Из экзотических развлечений туристам предлагают полярное барбекю, хоровод вокруг точки полюса, купание в Северном Ледовитом океане и вид незаходящего солнца: в самой северной точке планеты полгода длится полярный день. Стоимость тура начинается с 25 тысяч долларов. Такого достижения цивилизации: чуть больше полутора миллионов рублей — и ты среди покорителей макушки планеты. Интересно, что могли бы сказать об этом члены экспедиции Умберто Нобиле и десятки полярных исследователей начала XX века, отдавшие свои жизни в попытках добраться до Северного полюса? Тем не менее, в этом году в первой круизный рейс атомного ледокола «50 лет Победы», состоявшийся 13 июня, к заветным 90°00'00" северной широты отправились 122 любителя острых ощущений.

Но у самого крупного атомного ледокола современности есть и другое достижение. Именно ледокол «50 лет Победы» стал той площадкой, где наша страна вновь заявила о необходимости развития Арктики и Северного морского пути. На борту только что вступившего в строй атомного ледокола «50 лет Победы» в мае 2007 года президент РФ В. В. Путин провел совместное заседание президиума Государственного Совета и Морской коллегии при правительстве России по вопросам развития арктической транспортной системы и инфраструктуры морского транспорта. Тогда же для координации всей работы, связанной с развитием российской Арктики и Северного морского пути, по предложению президента был создан Национальный арктический совет.

С этого времени, с конца первого десятилетия нового века, и можно вести отсчет нового этапа российского освоения Арктики, развития Северного морского пути и атомного ледокольного флота.

Россия обладает единственным в мире атомным ледокольным флотом, призванным на основе применения передовых ядерных достижений решать задачи обеспечения национального присутствия в Арктике.

В состав атомного ледокольного флота в настоящее время входят: два атомных ледокола с двухреакторной ядерной энергетической установкой мощностью 75.000 л. с. («Ямал», «50 лет Победы»), два ледокола с однореак-

торной установкой мощностью около 50.000 л. с. («Таймыр», «Вайгач»), атомный лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть» с реакторной установкой мощностью 40.000 л. с. и пять судов технологического обслуживания. Атомный ледокол «Советский Союз» находится в эксплуатационном резерве.

Россия всерьез и надолго вернулась в Арктику. По информации Росатома, в 2016 году объем перевозок грузов по трассам Северного морского пути составил более 7,3 млн тонн, что на 35% больше, чем в 2015 году. В 2017 году атомными ледоколами в акватории Северного морского пути проведено 492 судна общей валовой вместимостью 7.175.704 тонны (для сравнения, в 2016 – 410 судов общей валовой вместимостью 5.288.284 тонны). В период 2020-2022 годов ожидается количественный и качественный скачок грузопотока углеводородной продукции, по прогнозам он будет достигать 20 млн тонн в год. А в известном майском указе Владимира Путина к 2024 году намечалось ежегодно перевозить по Северному морскому пути уже 50 миллионов тонн груза.

Госкорпорация «Росатом», получив в 2019 году статус инфраструктурного оператора Севморпути, до конца года намерена разработать конкретный план его развития на предстоящую пятилетку. Что в этих планах? Вот информация, датированная мартом 2019 года:

«В Санкт-Петербурге на Балтийском заводе по заказу Росатома идет строительство трех новых универсальных атомных ледоколов проекта 22220: головной ледокол «Арктика» и первый серийный ледокол «Сибирь» спущены на воду, второй серийный атомоход «Урал» пока находится на стапелях. Сроком сдачи «Арктики» обозначен 2019 год, «Сибири» – 2020 год, «Урала» – 2021 год.

Универсальные атомные ледоколы проекта 22220 мощностью 60 МВт станут самыми большими и мощными в мире по сравнению с действующими атомоходами. Они нужны для обеспечения российского лидерства в Арктике. Длина судна составит 173,3 метра, ширина – 34 метра, водоизмещение – 33,5 тысячи тонн. Эти ледоколы смогут проводить караваны судов в арктических условиях, пробивая лед толщиной до трех метров. Они будут обеспечивать проводку судов с углеводородным сырьем с месторождений Ямальского, Гыданского полуостровов и с шельфа Карского моря на рынки стран Азиатско-Тихоокеанского региона».

В Росатоме определены направления развития ледокольного флота и Севморпути на последующие пятилетки. Здесь планируют до 2035 года построить в общей сложности пять универсальных атомных ледоколов проекта 22220, а также три ледокола «Лидер» мощностью 120 МВт, ядерную энергетическую установку для которого разрабатывает ОКБМ Африкантов. Новая мощнейшая энергетическая установка РИТМ-400 позволит ледоколу проходить лед толщиной более четырех метров, а при двухметровых льдах обеспечит скорость движения в 13 узлов, при этом ширина перспективного атомохода – более 47 метров. Это позволит уникальному судну проламывать во льдах канал шириной более 50 метров, то есть, даст возможность круглогодичной проводки по Северному морскому пути всех типов судов, включая крупнотоннажные танкеры и сухогрузы.

По сообщениям разработчиков только создание конструкторской и технической документации «Лидера» обойдется в три миллиарда рублей. Несмотря на то, что общая стоимость строительства ледокола оценивается в 100 миллиардов рублей, правительство России

заверило, что вопрос с финансированием проекта решен. Определено, что все три ледокола будут строиться на Дальневосточном судостроительном комплексе «Звезда» в кооперации с «Балтийским заводом».

Но полноформатная реализация давней мечты министра финансов Российской Империи Витте – активное освоение Россией высоких широт и выход на приемлемые коммерческие результаты проводки караванов по Северному морскому пути – не нравится конкурентам. В октябре 2019 года Министерство обороны США представило конгрессу «Арктическую доктрину», суть которой заключается в блокировании развития России в этом направлении. США стали активно продвигать идею, согласно которой Северный морской путь должен быть общим, а не использоваться исключительно Россией. Американские военные заявляют, что Арктика «имеет прямое отношение к национальной безопасности США», а потому Америке следует развернуть там мощную боевую группировку, «способную обеспечить конкурентное преимущество в этом ключевом регионе». Вот так, прямо и прозрачно, сказано, что конкурентное преимущество американцы обеспечивают исключительно боевыми группировками.

Реализуя эти планы, США уже потребовали от Канады забыть об ее исключительном праве на арктический коридор, предусмотренный Конвенцией ООН, а также высказали свое намерение нарастить в канадской зоне Ледовитого океана силы американского флота и увеличить число военных объектов.

А что же наши лучшие союзники: армия и флот? Арктическая группировка Вооруженных сил России уже создана и неплохо оснащена, активно идет восстановление брошенных ранее аэродромов, расположенных за Полярным кругом, на архипелаге Новая Земля развернута новейшая дивизия ПВО, в Арктике проводятся масштабные военные учения с привлечением практически всех родов войск.

Буквально на днях интернет-портал «Российской газеты» поведал о том, что датчане страшно напугались, узнав, что ВМФ России в конце октября спустил на воду боевую бронированный ледокол «Иван Папанин». Ко-

рабль, закладка которого состоялась в 2017 году на «Адмиралтейских верфях», способен преодолевать льды толщиной более полутора метров и, что особо важно, сторожевик оснащен электронными боевыми системами и способен применять крылатые ракеты «Калибр-НК» – на ледоколе находятся восемь пусковых установок. По планам универсальный патрульный корабль арктической зоны «Иван Папанин» в 2024 году вступит в строй, второй сторожевик этой серии «Николай Зубов» будет заложен в 2020 году.

В открытых источниках есть информация о том, что для защиты своих северных рубежей и обеспечения безопасности Северного морского пути Россия создает флот из военных ледоколов и ударных кораблей ледового класса.

Если присмотреться внимательно, то на фотографии атомного ледокола «Советский Союз» перед рубкой можно увидеть нечто, как говорят знающие люди, очень похожее на РЛС управления артиллерийской стрельбой. Это установка МР-123, обеспечивающая стрельбу по надводным, воздушным и береговым целям. Такая же установка есть на атомных ледоколах «Россия» и «Ямал». И в этой связи стоит отметить, что Росатом в самом начале 2016 года предложил министерству обороны России переоборудовать атомоход «Советский Союз» в плавучий арктический командный пункт.

И последнее на эту тему. Перспективный ледокол «Лидер» разрабатывается таким образом, чтобы в случае необходимости в его отсеках можно было быстро установить контейнеры с противолодочным, ракетным или артиллерийским вооружением, превратив ледокол в мощный боевой ударный корабль, способный без проблем пересекать Северный Ледовитый океан в любом направлении.

Так что, пока американцы рассматривают и утверждают свою «Арктическую доктрину», наша собственная вполне себе неплохо развивается.

Петр ЧУРУХОВ

При подготовке материала использовалась информация и фото с сайтов ГК «Росатом», ОКБМ Африкантов, Росатомфлот, ЦКБ «Айсберг».



Пикник на макушке планеты



Медицинское обеспечение ледокольного флота

5770 морских миль, маршрут от порта Мурманск до порта Владивосток через моря – Северный морской путь не только главная транспортная магистраль Арктики. Это еще и огромная, со сложным климатом и логистикой территория, на которой люди в белых халатах каждый день оказывают медицинскую помощь пациентам – и на море, и на суше. Это одна из важнейших задач Федерального медико-биологического агентства России.

Федеральное медико-биологическое агентство (ранее Третье главное управление при Министерстве здравоохранения СССР) было создано 21 августа 1947 года целенаправленно под развитие ядерно-промышленного комплекса Советского Союза. С тех пор и до сегодняшнего дня Агентство продолжает курировать отрасли промышленности и объекты с особо опасными условиями труда, а также территории их присутствия, в том числе ЗАТО, и оказание медицинской помощи на судах с ядерными энергетическими установками.

Судовая медицина – важное направление работы ФМБА России, – работы, которая сконцентрирована именно на трассе Северного морского пути. Сейчас в Арктической зоне России 11 медицинских организаций Агентства и их филиалов, которые активно сотрудничают между собой, перенимая опыт. В их числе Мурманский многопрофильный центр имени Н. И. Пирогова (Мурманск), Северный медицинский клинический центр имени Н. И. Семашко (Архангельск), Клиническая больница №122 имени Л. Г. Соколова (Санкт-Петербург),



Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины ФМБА России.

Активное освоение Русской Арктики требует развития Северного морского пути – главной артерии, кратчайшей альтернативы другим дорогам из Европы в Азию. Севморпуть соединяет две цивилизации, накрепко сшивает два края страны, обеспечивает бесперебой-

ное снабжение высокоширотных территорий. А это девять российских регионов, благополучие каждого из которых напрямую зависит от стабильности функционирования морской магистрали, которую непосредственно обеспечивает атомный ледокольный флот.

При этом на работе и здоровье моряков сказывается целый ряд негативных факторов. Это и автономность плавания судов, и длительность рейсов, и риск чрезвычайных ситуаций техногенного характера, и неблагоприятные погодные факторы высоких широт. Все это ставит сложные задачи перед медиками, которые отвечают за здоровье плавсостава.

Организация медицинской помощи на судах Атомного флота возложена на Мурманский многопрофильный центр имени Н. И. Пирогова ФМБА России. Центр начал свою историю в 1917 году как Мурманская портовая больница. Это одно из старейших медицинских учреждений на Кольском полуострове. Со временем определилась его специфика как больницы хирургического профиля с акцентом на оказании высокотехнологичной медицинской помощи. В 2016 году Мурманский клинический комплекс вошел в структуру Федерального медико-биологического агентства России и стал Мурманским многопрофильным центром имени Н. И. Пирогова ФМБА России. Сейчас это стационар на 200 коек и поликлиника, круглосуточный врачебный здравпункт и отделение судовой медицины. В год в центре проводится более шести тысяч операций, в том числе высокотехнологичных.

Мурманский многопрофильный центр оказывает медицинскую помощь работникам предприятий с особо опасными условиями труда, в том числе ФГУП «Атомфлот». Это как первичная медико-санитарная помощь на судах атомного флота, так и специализированная, в том числе высокотехнологичная медицинская помощь в амбулаторных и стационарных условиях, условиях дневного стационара и на судах.

В сферу ответственности ММЦ входят пять действующих судов с ядерными энергетическими установками: «50 лет Победы», «Ямал», «Вайгач», «Таймыр», атомный лихтеровоз «Севморпуть». С 2016 по 2018 год включительно медики Мурманского многопрофильного центра обеспечили 55 арктических рейсов общей длительностью 3207 дней.

На практике это выглядит следующим образом. Рабочим местом сотрудников отделения судовой медицины (врачей и фельдшеров) являются судовые помещения медицинского назначения на атомных ледоколах – медицинские блоки. В них врачи обеспечивают оказание экстренной и неотложной помощи в период арктических рейсов на судах членам экипажей атомных ледоколов, пассажирам, экипажам





караванов судов. В среднем в течение рейса регистрируется 160 случаев заболеваний. В ряде случаев моряки могут быть сняты с судов для продолжения обследования и лечения в береговых учреждениях.

Судовые медицинские блоки укомплектованы новым современным оборудованием: телемедицинскими установками, эндовидеохирургическими комплексами, аппаратами УЗИ, рентгенологическими комплексами, лабораторным оборудованием.

В качестве наглядного примера можно представить медицинский блок атомохода «50 лет Победы». В медблоке есть телемедицинская установка, включающая электрокардиограф, спирограф, пульсоксиметр, глюкометр, экспресс-анализатор мочи, регистратор ЭКГ и АД для получения консультации у береговых специалистов в случае возникновения неотложных ситуаций, прикроватный монитор пациента с возможностью измерения АД, ЧСС, ЭКГ, пульсоксиметрии; эндовидеокомплекс; эндовидеохирургический комплекс для лапароскопии и эндохирургии; наркозно-дыхательный аппарат с анестезиологическим монитором; передвижной УЗИ аппарат; палатный передвижной рентгенологический комплекс; лабораторное оборудование.

Здоровье моряка – это безопасность судна, в период арктических рейсов специалисты ММЦ обеспечивают качественное оказание медицинской помощи в соответствии с полученными лицензиями.

Стабильность трассы Северного морского пути обеспечивается не только ледокольной проводкой караванов, но и береговой инфраструктурой. Однако, если с оснащением медицинским оборудованием судовых медблоков или обеспечением их квалифицированными кадрами уже нет значительных трудностей, то на берегу все, увы, сложнее.

О критическом состоянии береговой медицины Арктики заговорили еще 7-8 лет назад, когда совместный мониторинг, дважды проведенный архангельскими учеными на гидрографических судах, показал: если в западном секторе Севморпути медицинская помощь относительно доступна – имеются крупные специализированные лечебные учреждения, санитарная авиация, – то в восточном она практически отсутствует на должном уровне. От Сабетты до поселка Провидения моряку с трудом можно рассчитывать на квалифицированную медицинскую помощь. Больницы – там, где они есть, – построены в 60-х годах прошлого века,

нуждаются в ремонте, переоснащении, кадрах. Кроме этого, остается еще одна не решенная до конца проблема – оперативная эвакуация с борта судна моряков, нуждающихся в экстренной медицинской помощи, маршрутизация пациентов в высоких широтах.

В таких условиях доставка пострадавшего с борта судна на операционный стол хирурга может занять катастрофически долгий срок, эта ситуация ставит под угрозу жизнь и здоровье членов экипажей судов и берегового населения.

Делая ставку на развитие Северного морского пути, нужно задуматься о создании в высоких широтах безопасных условий для моряков, которые сделают квалифицированную и своевременную медицинскую помощь не просто доступной, но и гарантированной.

Неразвитость системы здравоохранения по трассе Севморпути, отсутствие необходимых видов медпомощи и возможности быстрой транспортировки пациентов в профильные лечебные учреждения, дефицит медицинских кадров... Врачи стареют, покидают Север, а на смену им вовсе не спешат молодые специалисты. И причина тому не только отсутствие внятных социальных гарантий или конкурентоспособных условий труда. Молодой врач поступает на работу в надежде расти и совершенствоваться, по этому признаку он выбирает город и клинику, где будет служить своей профессии. И, если перспектив роста и развития нет, прямо скажем, не стоит ожидать очереди на трудоустройство из молодых специалистов.

Почему в столь быстро развивающемся и важном для страны – экономически и стратегически – регионе, как Крайний Север, не растет, не дает потенциала молодым медицина? При том запросе на медицинскую помощь, который, с учетом климата и вредных биологических факторов, есть у населения, это парадокс.

Однако его причина банальна: во всех девяти арктических субъектах Российской Федерации стоимость единицы оказания медицинской помощи разная, тарифы, по которым финансируются лечебные учреждения, не соответствуют реальным затратам на оказание медицинской помощи. О развитии не идет речь, пока не закрыты основные статьи расходов. Этот вопрос можно решить, он в руках законодателя. Он, как и некоторые другие проблемы оказания качественной медицинской помощи на трассе Северного морского пути, требует

вдумчивого и детального рассмотрения – и скорейшего решения.

Опыт практической работы учреждений Федерального медико-биологического агентства в Арктике позволил выявить целый ряд проблем, которые снижают эффективность качественной организации медицинской помощи в высоких широтах. Для их решения нужно радикальное изменение подхода к организации лечебного процесса, отраженное в законодательных инициативах.

Думается, было бы целесообразно выделить единого оператора по оказанию медицинской помощи на трассе Северного морского пути. Это позволило бы убрать имеющиеся разногласия в законодательстве девяти субъектов Федерации и разработать единый подход к стандартам оказания медицинской помощи и транспортировки пациентов.

Медицинские блоки атомных ледоколов следовало бы сделать опорными пунктами оказания медицинской помощи для экипажей судов проводки. Для этого необходимо дооснастить медблоки лечебно-диагностическим оборудованием, утвердить штатные нормативы судового медперсонала и укомплектовать штат судовой медицины подготовленными кадрами.

В рамках реализуемых проектов необходимо наращивать оказание в учреждениях ФМБА высокотехнологичной медицинской помощи. Целесообразно рассмотреть вопрос развития структуры береговых лечебных учреждений по трассе Северного морского пути – также в рамках Федерального медико-биологического агентства.

При высокой концентрации в Арктике объектов, использующих атомную энергию, на территории их присутствия нет специализированных лечебных учреждений, готовых принять пострадавших при радиационной аварии. Это, безусловно, недопустимо, в чем нас убеждают вызовы сегодняшнего дня.

Поэтому разумным представляется создать Центры охраны здоровья моряков с аварийно-спасательными функциями на случай возникновения чрезвычайных ситуаций на базах подведомственных Агентству учреждений как опорных пунктов реализации программы обеспечения безопасности мореплавания.

Жители Крайнего Севера находятся в сложных климатических условиях и испытывают на себе все вредные факторы воздействия Арктической зоны и высоких широт. Поэтому оказание медицинской помощи на Крайнем Севере должно иметь свои отличия от прочих территорий Российской Федерации. Эффективность медпомощи на Севере должна быть увеличена, но для этого нужен системный подход, причем как к организации лечебного процесса, так и к структуре финансирования.

Учитывая современные тенденции развития Арктической зоны, Северного морского пути, увеличение использования ядерной энергии в стратегических и мирных целях, повышение риска возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах использования ядерной энергии, необходимо совершенствовать систему организации здравоохранения с целью обеспечения безопасности здоровья и жизни российских граждан.

Наличие высококвалифицированных кадров, оборудования, использование современных технологий позволяют оказывать оперативную высококвалифицированную помощь персоналу судов ледового класса и населению береговых территорий силами учреждений Федерального медико-биологического агентства России.



Кузница кадров для ледокольного флота

Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева занимает первое место в рейтинге «Национальное признание-2019» по предмету «Ядерная техника» среди российских вузов в области инженерии. От ближайшего соперника в группе, занимающего вторую строчку рейтинга, Нижегородский технический университет отделяет почти двукратный отрыв.

Столь высокая оценка, конечно, не случайна. Традиции подготовки кадров по специальностям, связанным с ядерными энергетическими установками, насчитывают здесь почти 60 лет. И толчком для их развития в немалой степени послужило создание в СССР атомного ледокольного флота.

Рассказывает ректор НГТУ им. Р. Е. Алексеева, доктор технических наук, профессор С. М. Дмитриев:

— Основы проектирования ядерных энергетических установок для ледокольного флота были заложены здесь, в городе Горьком. 20 ноября 1953 года Совет министров СССР принял постановление о строительстве атомного ледокола «Ленин» — первого в мире судна гражданского назначения с ядерной силовой установкой. Игорь Иванович Африкантов, бывший в то время главным конструктором Особого конструкторского бюро по созданию оборудования для атомной промышленности (ныне — ОКБМ), добился, чтобы всё проектирование реакторной установки и входящего в нее оборудования выполнялось силами ОКБ, у которого уже был опыт проектирования подобных установок для атомной подводной лодки.

3 декабря 1959 года на ледоколе «Ленин» был поднят государственный флаг СССР, ознаменовавший рождение советского атомного ледокольного флота, а в 1960 году за участие в создании ядерной энергетической установки первого в мире гражданского атомного судна ОКБ получило высшую государственную награду — Орден Ленина.

Успешная эксплуатация первого атомного ледокола положила начало развитию целой отрасли — атомного судостроения. А это означало, в первую очередь, острую необходимость в подготовке кадров для новой отрасли.

Сам — выпускник Горьковского политехнического института по специальности «судостроитель-теплотехник», И. И. Африкантов, уже будучи начальником и главным конструктором закрытого ОКБ, преподавал на кораблестроительном факультете политеха. Еще в 1957 году по инициативе ОКБМ на кораблестроительном факультете Горьковского политехнического института была организована подготовка инженеров-судомехаников с углубленным изучением физико-математических дисциплин. Эти специалисты должны были обеспечить проектирование, создание и эксплуатацию ядерных энергетических объектов военно-морского флота. К окончанию первого выпуска институт подготовил 23 специалиста этого профиля, однако потребности промышленности были



Ректор НГТУ им. Р. Е. Алексеева С. М. Дмитриев и генеральный директор ФГУП «Атомфлот» М. М. Кашка

значительно шире. Понимая необходимость целевой подготовки специалистов для работы в области реакторной техники, выдающие советские ученые академики А. П. Александров, А. И. Лейпунский, директор ОКБМ И. И. Африкантов поставили вопрос о создании в политехническом институте специализированного физико-технического факультета. В мае 1961 года постановлением Совета министров СССР был образован закрытый физико-технический факультет. 1 сентября 1962 года факультет начал свой первый учебный год, приняв 100 человек на обучение по специальностям «Ядерные энергетические установки» и «Проектирование и эксплуатация атомных энергетических установок». И. И. Африкантов возглавил кафедру проектирования и эксплуатации реакторов на физтехе. Так было положено начало кузнице кадров для ОКБМ и в том числе — для отечественного атомного флота.

Физтех успешно работал и развивался почти полвека. В 2008 году на базе физико-технического факультета был организован образовательно-научный Институт ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭИТФ), который подготовил уже около 4000 специалистов для атомной отрасли и ядерно-оборонного комплекса России.

В рамках программы стратегического развития в НГТУ им. Р. Е. Алексеева успешно реализован проект «Повышение эффективности освоения арктических и внутренних водных путей России». Результатом данного проекта стало создание лаборатории освоения Арктики, научного опытно-конструкторского бюро «Лед-НН», переоснащение ледовых опытовых бассейнов. Впервые в истории Нижегородского региона открыта новая магистерская про-

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

В настоящее время в рамках сотрудничества с ОКБМ Африкантов НГТУ им. Р. Е. Алексеева не только обеспечивает это предприятие кадрами, но и проводит большой цикл научно-исследовательских работ для создания новейших установок «РИТМ-200» и «РИТМ-400», разрабатываемых в ОКБМ. Мы исследуем гидродинамику тепловыделяющих сборок нового

поколения; проводим работу по исследованию ресурса и повышению долговечности данных ядерных установок, используя для этого уникальные стенды, каких нет больше ни в одном вузе страны.

Сегодня интерес молодежи к ядерной энергетике возрастает с каждым годом. Об этом говорит и высокий конкурс в ИЯЭиТФ, и высокие баллы абитуриентов, и стопроцентное трудоустройство получивших эти специальности по окончании вуза.

Наши выпускники успешно создают, разрабатывают, исследуют и эксплуатируют ледокольную технику. Они работают на атомных ледоколах, в том числе на атомоходах последнего поколения: головном ледоколе «Арктика» серии 22220 и ПАТЭС «Академик Ломоносов».

Поэтому юбилей атомного флота страны мы по праву считаем и своим праздником, и к этой дате в стенах университета будет организована большая выставка, рассказывающая о выпускниках и преподавателях нашего вуза, внесших значительный вклад в развитие отрасли.

Но как бы ни были сильны «ядерные» позиции университета, у него немало достижений и в других направлениях. В 2017 году НГТУ им. Р. Е. Алексеева был включен в список опорных вузов России, а это высокий статус и большая ответственность, ведь задача опорных вузов – способствовать развитию целых регионов. Не случайно в вузе начали действовать сразу несколько стратегических проектов, в том числе «Региональная платформа «Инженерный лифт», «Центр инновационных ядерных технологий», «Проектно-ориентированное обучение», «Создание высокотехнологичных производств», «Бережливый университет», «Развитие национальной системы подготовки кадров» и другие.

Определяя направления для стратегических проектов, мы выбирали такие, в которых наш вуз имеет очень высокие компетенции и, не побоюсь этого слова, достижения и общероссийского, и даже мирового уровня. Невозможно быть одинаково успешными во всем. Поэтому, сосредоточив усилия на нескольких стратегических направлениях, мы добились, прежде всего, существенного улучшения материальной базы. Я уже говорил о том, что университет приобрел уникальные для вузов страны стенды для проведения НИР и ОКР по ядерной тематике. Кроме того, значительно расширились возможности для международного сотрудничества. Сегодня в ИЯЭиТФ обучаются граждане Израиля, Китая, Чехии, Руанды, Эфиопии – такого разнообразия географии студентов у нас не было никогда. Они приезжают по направлению правительств своих стран в рамках программ Россотрудничества. За их обучение вуз получает определенные средства, и мы рады, что количество иностранных студентов с каждым годом только увеличивается.

Стратегические проекты придали новое качество научным исследованиям, осуществляемым вузом. Если раньше мы выполняли научные исследования в рамках определенных хозяйственных договоров с предприятиями, то сегодня, например, НГТУ им. Р. Е. Алексеева выполняет около 70% всех научно-исследовательских работ Горьковского автозавода. То есть, из простых исполнителей НИОКР мы, по сути, стали крупным КБ для такой серьезной корпорации, как Группа ГАЗ. Здесь очень важен тот факт, что объем заказов предприятий исчисляется сотнями миллионов рублей – а такие деньги никто вузу просто так, «на поддержку штанов», не подарит. Это свидетельствует и о высоком уровне выполняемых нами разработок,



С. М. Дмитриев – участник тематического рейса на Северный полюс, посвященного 60-летию атомного ледокольного флота

и о доверии к нам со стороны промышленных предприятий.

Заботясь о будущем и вуза, и региона, мы развиваем такое направление, как «Дом научной коллаборации», или ДНК. Это уникальная для России модель дополнительного образования школьников, где реализуются новейшие программы технического творчества. Нижегородская область в числе других 15 регионов выиграла право быть пилотным регионом по созданию такого центра.

«Дому научной коллаборации» при НГТУ им. Р. Е. Алексеева присвоено имя знаменитого земляка – изобретателя Ивана Петровича Кулибина.

В ДНК будут реализовываться несколько образовательных проектов для школьников всех возрастов – буквально от первоклашек до старшеклассников. Так, в «Детском университете» предусмотрены инженерные программы, связанные с робототехникой и электроэнергетикой; «Малая Академия» предлагает инженерные программы для потенциальных абитуриентов технических вузов по направлениям «Робототехника», «Беспилотные летательные аппараты» и «Возобновляемая энергетика»; «Урок технологии» – это обновленное преподавание школьного учебного предмета «Технология» с использованием мастерских, лабораторий и кадровых ресурсов технического университета, включая виртуальное моделирование. С ребятами занимаются 18 наставников – аспирантов, преподавателей, профессоров; задействованы лаборатории четырех институтов нашего вуза и специализированные аудитории факультета довузовской подготовки и дополнительного образования.

Собственно говоря, традиции работы со школьниками в техническом университете не



Занятия в Доме научной коллаборации

прекращались никогда. На базе нашего вуза всегда работали школьные кружки и летние лагеря, у нас есть базовые колледжи. «Дом научной коллаборации» придает новое, современное звучание этой теме, и оно пользуется большой популярностью. Младшим школьникам безумно нравятся все эти электрические игрушки, роботы, беспилотники. Они готовы днествовать и ночевать в университетских лабораториях. А ведь именно в этом возрасте и закладывается интерес, который может определить и будущую профессию, и дело всей жизни.

Бюджетное финансирование в рамках госпрограммы развития опорных вузов для НГТУ им. Р. Е. Алексеева в этом году фактически будет завершено, но за счет средств, самостоятельно заработанных вузом, ни один из стратегических проектов не будет свернут или закрыт. Нас в связи с этим высоко оценило Министерство науки и высшего образования РФ, отнеся к первой категории вузов – а таковых всего четыре по стране.

Высокие результаты достигаются серьезной работой. Мы всегда стараемся не просто идти в ногу со временем, но хотя бы на шаг опережать его. К примеру, НГТУ им. Р. Е. Алексеева – один из немногих вузов, имеющий сертификат Национальной ассоциации управления проектами СОВНЕТ, и один из наших стратегических проектов так и называется: «Проектно-ориентированное обучение». Эту работу мы ведем совместно с компанией «Атомстройэкспорт». Мы обучаем своих студентов к работе в команде – причем, это может быть команда, собранная из представителей разных институтов НГТУ или даже из разных вузов. Они выполняют практическую задачу, поставленную промышленным предприятием, а это всегда интересно, так как позволяет видеть результат своего труда и понимать, где он будет использован. Поэтому, если раньше число студентов, желающих принять участие в таких группах, составляло 2-3 процента, то сейчас их количество превышает 50% от общего числа обучающихся. Ребята получают новые компетенции, учатся работать в команде – сегодня это актуально для любой профессии.

Мы постоянно и успешно участвуем в конкурсах на создание новых высокотехнологичных производств. В этом году победителями таких конкурсов стали три наших проекта; в одном мы головные исполнители, и в двух других – соисполнители. На эти конкурсы мы также выходим вместе с предприятиями-партнерами – Группой ГАЗ, ОКБМ Африкантов», зеленоградской компанией «Миландр» и другими. Рады, что и здесь наше сотрудничество оказывается очень успешным.

Опорный вуз уже много лет тесно сотрудничает с Ассоциацией развития кластеров и технопарков России, недавно предложившей нам партнерство в реализации национального проекта «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы» в части вовлечения молодежи в предпринимательскую деятельность. Научный потенциал вуза вполне позволяет отвести ему роль центра технологической экспертизы в рамках реализации нацпроекта. На базе нашего университета будут концентрироваться поступающие проекты, проводиться их экспертиза, затем пройдет итоговый форум.

Не так давно Нижегородский государственный технический университет вступил во второе столетие своей деятельности. За эти годы воспитано не одно поколение специалистов. НГТУ им. Р. Е. Алексеева и впредь будет высоко держать планку одного из авторитетнейших технических вузов страны.

«Если есть задача, значит, есть и ее решение»

25 ноября 2019 года исполняется 95 лет со дня рождения выдающегося конструктора и ученого мировой величины, патриарха отечественной ядерной индустрии, многие годы успешно руководившего одним из крупнейших «атомных» КБ страны – ОКБМ имени И. И. Африкантова, лауреата Государственных и международных премий, нашего великого современника, результаты труда которого легли в том числе в основу развития отечественного атомного флота – Федора Михайловича Митенкова.

Он родился 25 ноября 1924 года в селе Ключи Саратовской области, в семье фельдшера, и был третьим из четверых детей. Учебу Фёдор начал в сельской школе в 1930 году, когда ему не было еще и шести лет. Увязался за старшей сестрой, да так и остался в классе. В конце 1933 года семья переехала в Саратов, где дети могли получить хорошее образование. По сравнению с сельской в городской школе была довольно хорошая библиотека, и Фёдор пристрастился к чтению.

В 1941 году Фёдор Митенков с отличием окончил среднюю школу и готовился поступать в Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, но затруднился с выбором факультета. Физико-математический факультет привлекал его логической строгостью и стройностью изучаемых дисциплин, а историко-филологический — обширностью информации по общественным событиям, становлению и развитию культуры. В пользу этого факультета говорили и ученические опыты по сочинению стихов и рассказов.

Однако жизнь проблему выбора факультета решила по-своему. 22 июня 1941 года началась Великая Отечественная война. Вместо университета Федор Митенков с близкими друзьями-однокашниками пошел в райвоенкомат с просьбой, чтобы их отправили на фронт. Старшие друзья, которые уже закончили учебу в аэроклубе, получили направление в авиационное училище, а Федору райвоенком предложил подождать.

По настоянию отца Фёдор пошел в университет и оформился на физико-математический факультет. После окончания 1-го курса, в августе 1942 года, он был призван в армию.

Демобилизовавшись в июле 1946 года, был принят на 2-й курс физического факультета университета. В своей книге «Размышления о пережитом» Федор Михайлович вспоминал: «Материальное положение семьи было в эти годы весьма тяжелым. Отец к этому времени был тоже демобилизован из армии, а его здоровье оставляло желать лучшего... У меня не было уверенности, что ему будет по силам



содержать меня и мою младшую сестру еще 4 года, хотя и он, и мать горячо приветствовали мое желание продолжать учебу в университете...

Поэтому я принял нестандартное решение: одновременно с учебой в университете прослушать полный курс в Юридическом институте и получить полагающийся диплом юриста. ...Я полагал, что при наличии диплома юриста, если жизненные обстоятельства не позволят мне завершить учебу в университете, я смогу устроиться на работу, связанную с юриспруденцией.



Выпускник СГУ

... После получения диплома юриста (1948 г.) я имел разговор с отцом о том, что могу устроиться на работу, но придется покинуть университет или перейти на заочное обучение, если работа позволит. Отец довольно долго обдумывал мое предложение, но в конце концов сказал: «Давай, сын, поднатужимся и закончим университет нормально, как положено». ... Я в который раз удивился самоотверженности, последовательности, упорству отца в достижении цели... По-видимому, его пример в какой-то степени сказался и на мне, когда со временем я сформулировал для себя ряд принципиальных положений, которые использовал всю свою сознательную жизнь, а именно:

- безвыходных ситуаций не бывает;
- если есть задача, значит, есть и ее решение;
- дорогу осиливает только идущий.»

По окончании обучения молодой специалист получил предложение поступить в аспирантуру к профессору А. Д. Степуховичу, читавшему на физическом факультете курс статистической физики. Его научной специализацией была химическая физика. Фёдор успешно сдал вступительные экзамены, но неожиданно для себя попал в поле зрения комиссии из Москвы, отбиравшей перспективных выпускников-физиков для распределения по линии Первого Главного управления, в ведении которого находилась атомная промышленность. С мечтой об аспирантуре пришлось распрощаться – из Москвы ректору пришло распоряжение, в котором были перечислены выпускники, нужные 1-му Главному управлению (ПГУ). Был среди них и Федор Митенков.

О своей будущей работе он понятия не имел. Пошел на прием к высокому начальству, где ему популярно объяснили, что если будет и дальше упрямяться, то попадет туда, где никаких университетов ближе, чем за тысячу километров, нет. Ничего не оставалось, как выполнять приказ – отправиться в город Горький, на Артиллерийский завод имени И. В. Сталина в Особое конструкторское бюро (ОКБ).

«Прибыл я в Горький 7 ноября 1950 года. Настроение было подавленным. И причину этого нетрудно понять. В университете я готовил себя к научной работе... Зачисление в аспирантуру утвердило меня и моих близких во мнении, что жизненный путь определен. И вдруг все это в одночасье рухнуло. Работать на заводе я чувствовал себя совершенно не подготовленным.

Главный конструктор ОКБ Анатолий Иванович Савин поинтересовался у молодого специалиста, чем тот предпочитает заниматься: рисованием или расчетами? Слово «рисование» Федора буквально испугало – никакой склонности к этому виду творчества он в себе не чув-

ствовал и «рисовать» категорически отказался. Правда, потом оказалось, что в ОКБ под этим понимают техническое черчение.

Услышав, что новый сотрудник хотел бы заниматься задачами, требующими использования математики, Савин направил его в расчетное подразделение. В этот период ОКБ вместе с заводом выполняло большой объем научно-технических работ по разработке и освоению серийного производства диффузионных машин для обогащения урана. В ОКБ разрабатывались два варианта конструкции компрессора: осевой сверхзвуковой компрессор профессора М. Д. Миллионщикова и центробежный сверхзвуковой компрессор Горьковского ОКБ. Оценив перспективу разработок и высказав свои соображения на обсуждении у главного конструктора И. И. Африкантова, который в 1951 году сменил на этом посту А. И. Савина, переведенного на работу в Москву, Ф. М. Митенков предложил сосредоточить усилия ОКБ на центробежном варианте компрессора. Предложение было принято. Впоследствии на базе накопленных материалов по центробежному варианту Ф. М. Митенков под научным руководством М. Д. Миллионщикова подготовил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, которую защитил в начале 1959 года.

Первые шаги Ф. М. Митенкова в производственных условиях ОКБ определили в дальнейшем его судьбу. Коллектив был молодой, творческий и дружный. Руководители бюро способствовали созданию свободной, раскрепощенной атмосферы в коллективе, лишенной связывающих формальностей, что нисколько не мешало предельно обязательному и ответственному отношению сотрудников к работе.

«Фактически рабочий день каждого сотрудника кончался тогда, когда допускало состояние порученной работы. Раньше 9 часов вечера конструкторы и расчетчики с работы практически не уходили. Это относилось и к нерабочим дням. Если необходимо, то без каких-либо приказов необходимые исполнители выходили на работу и в нерабочие дни».

Для Ф. М. Митенкова имело громадное значение осознание того, что работа в ОКБ — это интенсивный творческий труд, по своим результатам и значимости имеющий государственный характер. Он оставил попытки продолжить университетскую карьеру и сосредоточился на атомной энергетике.

В ноябре 1953 года Правительство СССР приняло постановление о разработке мощного ледокола с ядерной энергетической установкой, предназначавшегося для проводки транспортных судов по Северному морскому пути и по высокоширотным трассам Арктики. Разработка проекта была поручена Горьковскому ОКБ. Начали буквально с нуля, потому что в мире отсутствовал какой-либо опыт проектирования ЯЭУ для надводного судна.

В рамках проекта Ф. М. Митенков занимался обоснованием геометрии проточной части главного циркуляционного насоса, подготовкой исходных данных для конструкторов, участвовал в расчете действующих нагрузок на подшипники и в самих испытаниях ГЦН.

«Случилось это так. Однажды И. И. Африкантов вызвал меня к себе и задал неожиданный для меня вопрос: «Федя, как ты считаешь, можем ли мы для ледокола спроектировать герметичный насос?» ... Я не был готов ответить на вопрос Игоря Ивановича и попросил разреше-



Ф. М. Митенков и А. П. Александров

ния подумать до конца дня. Мои размышления свелись к следующему. С точки зрения механики сплошных сред проектирование компрессоров для газовой среды значительно сложнее, чем насосов для несжимаемой среды, какой является вода. Тем более, что в компрессоре половинного расхода в диффузионных машинах мы имеем дело со сверхзвуковым течением. Элементы проточной части в компрессорах и насосах по функциональному назначению совпадают. Проблема обеспечения герметичности в обоих случаях имеет место, хотя по давлению рабочей среды здесь очень большое различие. Я доложил эти соображения И. И. Африкантову и сказал, что создание герметичного насоса, с учетом имеющегося опыта по компрессорам, нашему КБ по силам. «Коли так, — среагировал Игорь Иванович, — готовь исходные данные для конструкторов».

Работа над проектом первой судовой ЯЭУ и последующее участие в ее изготовлении и монтаже стали полезной школой для коллектива ОКБ, во многом определившей в дальнейшем организационное и структурное развитие предприятия. При проектировании был найден и внедрен ряд новых инженерных и физических решений. Хорошо организованная работа на всех этапах проектирования и строительства ледокола обеспечила сооружение первого в мире надводного судна с ЯЭУ в рекордно короткие сроки. Практически одновременно с проектированием энергоустановки для первого ледокола ОКБ совместно с НИИ-8 (ныне — НИКИЭТ) Ф. М. Митенков принял участие в создании ЯЭУ для первого поколения атомных подводных лодок. А в конце 1950-х годов ОКБ приступило уже к самостоятельному проектированию реакторных энергоустановок для АПЛ.

Морской атомной энергетикой в ОКБ Ф. М. Митенков начал заниматься в трудное для

нее время. Уроки первых лет эксплуатации атомных подводных лодок оказались весьма суровыми, был накоплен большой негативный опыт. Атомные подводные лодки слишком часто возвращались на базу с вышедшим из строя оборудованием. Командование Северного флота даже направило в адрес правительства и ЦК КПСС доклады о том, что применение ядерной энергетики на флоте — преждевременно.

Тем не менее, созданная специальная комиссия пришла к выводу, что надежность ядерных установок может быть повышена и строительство подводных лодок следует продолжить.

ОКБ Горьковского машиностроительного завода взялось за создание реакторов для подводных лодок второго поколения, к которым предъявлялись существенно более высокие требования по надежности, безопасности и живучести. Достижение поставленных целей требовало новых, нестандартных научных и инженерных подходов и решений, над которыми сотрудники ОКБ работали с энтузиазмом, понимая большую ответственность за порученное им дело. Эти задачи были успешно решены в первой половине 1960-х годов. С этого достижения ОКБ становится головной конструкторской организацией страны по реакторам транспортного назначения.

В 1959 году Ф. М. Митенков был назначен руководителем вновь образованного теоретического подразделения ОКБ, на которое было возложено расчетно-аналитическое обоснование проектов, разработка программ экспериментов для создаваемых новых лабораторий — физической, теплогидравлической, трения и износа, электрических измерений, проблем прочности и критических явлений, на которых отрабатывались активные зоны ядерных реакторов.

В начале 1960-х годов с особой остротой встала проблема подготовки квалифицированных кадров для работы в атомной энергетике. В 1962 году по инициативе И.И. Африкантова при самом активном участии Ф. М. Митенкова в Горьковском политехническом институте был создан физико-технический факультет, ставший вскоре основной базой подготовки кадров для ОКБ. Специальные кафедры этого факультета возглавляли по совместительству д.т.н. И. И. Африкантов и к.т.н. Ф. М. Митенков. Заслугой Ф. М. Митенкова стало создание учебных и лабораторных курсов ядерной физики, физики реакторов, физики защиты и радиационной безопасности. Немало труда вложил Федор Михайлович в разработку первых учебных планов с ориентацией на солидную общую физико-механическую и специальную подготовку по профилю работы предприятия.

По инициативе Ф. М. Митенкова ОКБ оснащалось современными ЭВМ, что дало возможность создавать и использовать в практике проектирования новые, более сложные программы расчета ядерных реакторов. Отделы Ф. М. Митенкова пополнились программистами, математиками, специалистами ряда других профессий. Кроме текущего обслуживания конструкторских работ в отделах стали выполняться исследовательские работы на перспективу. Все большее место в планах стало занимать сопровождение пусконаладочных работ на сооружаемых объектах атомной энергетике. Авторитет отделов заметно возрастал.

В 1960 году началось проектирование первого крупного энергетического реактора на быстрых нейтронах — БН-350 для энергоснабжения города Шевченко (ныне — г. Актау, Казахстан). Эта работа внесла в ОКБ новые направления исследований: физику реакторов на быстрых нейтронах, технологию и теплофизику натриевого теплоносителя со всеми сопутствующими особенностями выбора технологических и конструктивных решений, поведения конструкционных материалов. При проектировании БН-350 расчетно-экспериментальные обоснования физических характеристик реактора целиком проводил Физико-энергетический институт, но уже в следующем проекте — БН-600 — те же обоснования выполнялись совместно, либо самостоятельно сотрудниками ОКБМ (так с 1967 года стало называться ОКБ). Ф. М. Митенков активно участвовал в этих работах, предложив ряд решений по структуре и исполнительным органам регулирования и аварийной защиты. Вскоре он подготовил и защитил на основании работ по этим реакторам докторскую диссертацию. Нелишне напомнить, что созданный в ОКБМ БН-600 признан лучшим в мире промышленным быстрым реактором.

В 1964 году ОКБ ГМЗ было выделено в самостоятельное предприятие — ОКБ — с подчинением его Государственному комитету СССР по атомной энергии. Директором и главным конструктором ОКБ был назначен И. И. Африкантов. В 1967 году Ф. М. Митенков был назначен заместителем главного конструктора по научно-исследовательским работам.

К концу 60-х годов ОКБМ занимало лидирующие позиции в стране в области разработки атомных судовых установок для отечественных АПЛ и гражданских судов. Это была крупнейшая конструкторская организация с мощной стендово-экспериментальной базой и опытным производством, большим числом крупнейших

специалистов во главе с выдающимся конструктором и организатором науки. Поэтому преждевременная кончина 52-летнего И. И. Африкантова в августе 1969 года стала серьезным ударом по предприятию. Необходимо было срочно найти ему замену, но сделать это оказалось совсем непросто.

Рассматривались многие кандидатуры, и положение Ф. М. Митенкова, которому на тот момент шел 45-й год, было неоднозначным: он не имел достаточного опыта по руководству столь крупной организацией. Да и не очень стремился Федор Михайлович к руководящей деятельности, его вполне устраивало руководство всей научной частью ОКБМ.

Решающее значение сыграл тот факт, что сам И. И. Африкантов явно выделял Ф. М. Митенкова среди всех своих заместителей, приобщал к работам, ведущимся в ОКБМ по разным направлениям, и не скрывал, что в будущем видит в нем своего преемника. Осенью 1969 года Ф. М. Митенкова утвердили в должности директора и генерального конструктора ОКБМ.

В это время бюро уже занимало лидирующие позиции в разработке атомных энергоустановок для АПЛ и гражданских судов. По документации ОКБМ в стране серийно

изготавливались реакторные установки для АПЛ первого и второго поколений, строящихся на нескольких судостроительных заводах, монтировалась на атомном ледоколе «Ленин» новая, более совершенная энергоустановка, форсированно велись проектные работы над реакторными установками для АПЛ третьего поколения, для подводных кораблей ВМФ и судов гражданского флота.

Ф. М. Митенков был сторонником единой научно-технической политики на всех этапах создания ядерных энергетических установок. Основным принципом этой политики стал комплексный системный подход к проектированию систем и оборудования ЯЭУ со всесторонним теоретическим обоснованием конструктивных решений и представительными испытаниями узлов и оборудования в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Важной частью этого подхода являлось авторское сопровождение процессов производства, строительства и эксплуатации разрабатываемых реакторов и оборудования, а также анализ полученного при этом опыта для дальнейшего совершенствования конструкций.

В начале 1977 года академиком А. П. Александровым при участии Ф. М. Митенкова было вы-



На лыжне

двинуто предложение о развитии нового направления атомной энергетики — атомных котельных. В ответ на это предложение министр среднего машиностроения Е. П. Славский дал указание развернуть в ОКБМ при научном руководстве ИАЭ имени И.В. Курчатова работы по созданию реакторной установки для атомной станции теплоснабжения. В мае 1979 года технический проект атомной котельной АСТ-500 был утвержден для рабочего проектирования. Вскоре после этого появилось постановление правительства, в котором были обозначены 10 крупных городов, где планировалось их строительство.

В начале 1980-х годов развернулось строительство головной АСТ в Горьком, несколько позднее — в Воронеже. Однако с середины 1988 года на фоне аварии на Чернобыльской АЭС и политической перестройки в стране начались выступления общественности в Горьком и в Воронеже за прекращение строительства этих станций. В сложившихся условиях правительство приняло решение просить Международное агентство по атомной энергии провести независимую комплексную экспертизу безопасности проекта Горьковской АСТ и качества строительства. Такая экспертиза была проведена с привлечением ведущих специалистов из 14 стран. Несмотря на то, что комиссия экспертов в своем заключении дала высокую оценку проекту АСТ и качества выполненных строительно-монтажных работ, строительство Горьковской и Воронежской АСТ было в 1990-е годы остановлено. Закрытие одного из самых перспективных направлений в отечественной атомной науке и промышленности и отказ от строительства АСТ в своем городе Ф. М. Митенков ставил в вину политическим амбициям молодого губернатора Бориса Немцова.

В течение 28 лет под непосредственным руководством Ф. М. Митенкова как главного, а с 1988 года — генерального конструктора по судовой тематике в ОКБМ были доведены до реализации многочисленные проекты: высокоэффективные атомные паропроизводящие установки АПЛ третьего поколения в одно- и двухреакторном исполнении; атомная паропроизводящая установка КН-3, примененная на тяжелых ракетных крейсерах ВМФ и в проекте атомного авианосца; атомные реакторы типа ОК-900А и КЛТ-40 нескольких модификаций с унифицированным оборудованием, примененные на атомных ледоколах, атомном лихтеровозе и специальном корабле ВМФ. Разработаны и созданы специальные комплексы оборудования для проведения перезарядок реакторов АПЛ трех поколений, крейсеров, ледоколов, а также создана ремонтная оснастка для оборудования реакторных установок.

Как руководитель Ф. М. Митенков прилагал большие усилия для того, чтобы в ОКБМ приходила способная, талантливая молодежь, чтобы на смену старшему поколению приходила плеяда образованных, творческих, самостоятельных физиков. Многие его ученики стали кандидатами и докторами наук. При этом Федор Михайлович неоднократно подчеркивал, что его принципиальная установка — «работать с теми и такими людьми, которые есть в организации».

Он поощрял занятия своих сотрудников в спортивном зале и сам был прекрасным спортсменом, особенно любил плавание и лыжи (цель лыжных походов была — за зиму пройти путь, равный расстоянию от Нижнего Новгорода до Москвы и обратно).



Бюст Ф. М. Митенкова в ИЯЭиТФ

В 1979 году Ф. М. Митенков был избран членом-корреспондентом АН СССР по отделению механики и процессов управления, а в 1990 году — действительным членом Академии наук СССР по отделению механики, машиностроения и процессов управления. С введением в 1988 году в системе Минсредмаша звания «Генеральный конструктор по атомной энергетике» в числе первых этого звания был удостоен Ф. М. Митенков.

Помимо научных заслуг, знавшие Федора Михайловича отмечали прекрасные личностные качества этого человека. Он проявлял высокую гражданскую ответственность по всем вопросам, имеющим принципиальное значение для развития отрасли. В таких ситуациях обычно мягкий и очень деликатный Федор Михайлович мог проявить жесткость и принципиальность, невзирая на лица: критикуя идеи, казавшиеся ему непродуманными, он равно вступал в полемику и с хорошим товарищем, и с министром. Так, он последовательно выступал против демонстративно поддерживаемой министром по атомной энергии Е. О. Адамовым идеи создания нового реактора на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (проект БРЕСТ). Федор Михайлович отмечал отсутствие минимально необходимых данных для начала разработки проекта и обоснования возможности его реализации. Многие видные ученые были на стороне Митенкова в этом вопросе, но далеко не многие могли позволить себе открытое противостояние с отраслевым министром.

За 28 лет его руководства ОКБМ получил огромное развитие. Были существенно расширены конструкторские подразделения, созданы несколько специализированных лабораторий, сооружены специальные стенды для проведения испытаний, в том числе уникальный стенд для виброударных испытаний различного оборудования. В этот период в ОКБМ был создан собственный вычислительный центр, внедрено компьютерное конструирование. В результате мощного развития ОКБМ стало полноценным научно-конструкторским институтом.

В 1997 году Ф. М. Митенков стал научным руководителем ОКБМ, уступив место директору предприятия более молодому А. И. Кирюшину. К этому времени 73-летний руководитель ОКБМ был еще вполне крепок и здоров, пользовался непререкаемым авторитетом, но он был убежден, что для нового времени нужны новые люди с новыми идеями — и потому инициировал свой уход. Безусловно, это показатель незаурядности его личности.

Возглавляя научно-технический совет предприятия, он активно участвовал в выработке научной политики ОКБМ, формировании и выполнении стратегии развития предприятия и отрасли в целом. Он был также председателем Ученого совета по защите кандидатских и докторских диссертаций при политехническом университете.

Оценивая результаты перестройки, он считал, что машиностроение, в том числе атомное, может стать локомотивом для развития страны, основой передовой экономики, и очень переживал, что реальные дела заменяются громкими словами об «атомном ренессансе»: «Высокотехнологичное машиностроение — основной показатель всей экономики государства, поскольку оно определяет и уровень технической культуры, и научно-технический потенциал страны в целом... Не может быть так, чтобы зарплата банковского клерка была выше зарплаты инженера-атомщика».

За большие достижения в атомной энергетике Ф. М. Митенков удостоен звания Героя Социалистического Труда, ему присуждены Ленинская и Государственные премии СССР и РФ, многочисленные ордена и медали, звание «Заслуженный деятель науки РФ».

Большой личный вклад Ф. М. Митенкова в развитие отечественной и мировой атомной энергетики отмечен присуждением ему в 2004 году престижной Международной премии «Глобальная энергия» «За разработку физико-технических основ и создание энергетических реакторов на быстрых нейтронах» (совместно с американским ученым Л. Кохом). В декабре 2005 года Ф. М. Митенков был избран председателем Международного комитета по присуждению премии «Глобальная энергия».

Федор Михайлович Митенков скончался 9 ноября 2016 года, на 92-м году жизни. Имя академика Ф. М. Митенкова присвоено образовательно-научному институту ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭиТФ), в стенах которого выдающийся ученый передавал свои знания молодым физикам.

www.biblioatom.ru

Размышления о пережитом / Ф. М. Митенков. — М.: ИздАТ, 2004 (ППП Тип. Наука РАН). — 399 с. (серия «Творцы ядерного века»).

О времени, о власти, о стране. Сборник интервью. Нижний Новгород, 2012 г. С. 82-89



ПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА



EXPO
RUSSIA
VIETNAM
2019



ВЬЕТНАМ
ХАНОЙ
14-16
ноября 2019

Добро пожаловать в Ханой!

Социалистическая республика Вьетнам стабильно демонстрирует готовность к активному сотрудничеству с российскими компаниями: по данным Министерства экономического развития Российской Федерации общий рост экспорта из России во Вьетнам за три года вырос почти на 200%.

Широко востребованы на вьетнамском рынке российское электрооборудование и запчасти к нему, нефть и металлы, продукты, медтехника, оптические приборы, системы отопления... Во Вьетнаме растет интерес к совместным проектам в области образования.

У участников Третьей международной промышленной выставки EXPO-RUSSIA VIETNAM-2019 и российско-вьетнамского межрегионального бизнес-форума, которые пройдут в Ханое 14-16 ноября 2019 года, будет возможность не только представить свою продукцию на

выставочных стендах, но и напрямую пообщаться с представителями деловых кругов Вьетнама и других стран Юго-Восточной Азии, заинтересованных в сотрудничестве с российскими компаниями. И эта возможность – не гипотетическая, а подтверждаемая конкретными сделками. Так, по итогам прошлой выставки и Бизнес-Форума EXPO-RUSSIA VIETNAM 2018 только за три дня работы совместно с ТПП Вьетнама было проведено более 900 деловых встреч и переговоров с предпринимателями ЮВА, подписано 27 соглашений о сотрудничестве и контрактов на поставку продукции во Вьетнам, созданы условия для заключения ориентировочно 186 контрактов достигнуты договоренности о продолжении деловых контактов и другие конкретные результаты.

EXPO-RUSSIA VIETNAM 2018 посетили свыше трех тысяч гостей как из Вьетнама, так и из стран ЮВА, среди

которых – бизнесмены, представители министерств, аккредитованные во Вьетнаме сотрудники иностранных посольств и торгпредств. На площадке выставки были организованы целевые встречи делегаций региональных администраций России с вьетнамскими партнерами.

На готовящейся выставке EXPO-RUSSIA VIETNAM 2019 также предусмотрен формат круглых столов, пресс-конференций и деловых встреч.

Российским компаниям, планирующим выход на вьетнамский рынок, следует принять во внимание, что благодаря соглашению о свободной торговле между ЕАЭС и Вьетнамом ряд товаров российского производства имеет преференции. Эти меры весьма благоприятны для развития двусторонних экономических отношений между Вьетнамом и Россией.





«Нейтронике» – 30 лет

27-29 ноября 2019 года в Государственном научном центре Российской Федерации – Физико-Энергетическом институте им. А. И. Лейпунского состоится 30-я Всероссийская научно-техническая конференция «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики» («Нейтроника-2019») – одно из главных событий года для профессионального сообщества физиков-ядерщиков.

Конференция «Нейтроника» является преемницей Межведомственного ежегодного семинара с тем же названием, который впервые был проведен 30 лет назад под названием «Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчётов ядерных реакторов» по инициативе Физико-энергетического института имени А. И. Лейпунского и небольшой группы специалистов-расчётчиков.

Тридцать лет – это огромный срок. Такие мероприятия необходимы. Они являются площадкой для открытой дискуссии, где учёные обсуждают варианты развития атомной энергетики XXI века. Это особенно важно, когда после успешного ввода в эксплуатацию реактора БН-800 в российском ядерном сообществе стало общепризнанным, что дальнейшее развитие ядерной энергетики России будет осуществляться в двухкомпонентном варианте – на тепловых и быстрых нейтронах, работающих в едином топливном цикле. Руководством Госкорпорации «Росатом» поставлена задача ускоренной отработки технологий

замыкания топливного цикла на экспериментально-технологическом уровне, а затем его практическая реализация на демонстрационном и опытно-промышленном уровнях.

То обстоятельство, что семинар организует и проводит ФЭИ (теперь вместе с Госкорпорацией «Росатом»), объясняет большой упор на нейтронно-физические расчёты ядерных реакторов. Однако, этим направлением программа «Нейтроники» не ограничивается: так, в работе конференции принимают участие ведущие специалисты с докладами по тематикам, не связанным напрямую с расчётами нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов, но способным дать общее представление о том, где мы находимся и куда идёт атомная энергетика.

«Нейтроника» имеет статус отраслевого мероприятия, но реально в нем всегда участвовали специалисты из академических институтов (ИПМ, ИБРАЭ) и вузов (МИФИ, ИАТЭ), а также НИЦ «Курчатов-

ский институт». Обязательными гостями являются специалисты регулирующего органа – ФБУ «НТЦ ЯРБ».

В последние годы большой интерес к «Нейтронике» проявляют специалисты не только институтов, но и различных предприятий отрасли. Их доклады всегда вызывают позитивную реакцию у участников конференции.

Стоит отметить, что «Нейтроника» – мероприятие высокого уровня. Различных конференций сейчас проводится достаточно много, но большинство из них носит более общий и частично рекламный характер. Напротив, обнинская «Нейтроника» – специализированная, глубокая и очень серьёзная конференция.

**Пресс-служба
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»**



Проектное управление как тренд системы госуправления

«Если вы отрицаете свою ответственность за настоящее и вините во всем родителей, друга, мужа, невесту или коллег – значит, вы заранее отреклись от своего будущего».
Садхгуру, Индия

В Нижнем Новгороде прошла III Молодежная конференция по управлению проектами, в которой приняли участие более 250 молодых специалистов промышленных предприятий России.

Организаторами мероприятия стали Инжиниринговый дивизион ГК «Росатом» и Ассоциация управления проектами «СОВНЕТ» при поддержке правительства Нижегородской области.

Год назад Инжиниринговая компания «Атомстройэкспорт» (АСЭ) провела добровольную международную сертификацию корпоративной системы управления проектами и первая в России получила сертификат соответствия четвертому классу компетентности системы управления проектами, программами, портфелями проектов по модели международной ассоциации управления проектами (IPMA). Более 400 специалистов АО ИК «АСЭ», являющихся руководителями проектов и работающих в проектных офисах, прошли подготовку и сертификацию по международным стандартам управления проектами. Всего шесть компаний такого уровня существует в мире (!), и одна из них – нижегородская инжиниринговая компания «АСЭ».

Как никто другой обладая необходимыми компетенциями в области проектного управления, ИК «АСЭ» демонстрирует их на действующих стройках, во внутренней организации, делится опытом создания эффективной системы управления проектами. Поэтому нет ничего удивительного в том, что именно эта компания стала организатором молодежной конференции.

III Молодежная конференция, главная тема которой «Личная и командная эффективность в управлении проектами», проводилась в рамках реализации Дорожной карты по развитию проектного управления в инжиниринговом дивизионе Госкорпорации «Росатом» на период с 2018 по 2021 год, подписанной руководством дивизиона и Ассоциацией управления проектами «СОВНЕТ» в апреле 2018 года. Сотрудничество подразумевает разработку профессиональных стандартов, подготовку к сертификации персонала инжинирингового дивизиона, совместную организацию и участие в мероприятиях IPMA. Данная конференция была направлена на формирование общего взгляда на командообразование и командную работу, повышение компетентности специалистов в управлении проектами при проектировании и сооружении сложных инженерных объектов.

Проектное управление – один из трендов системы российского госуправления. На активизацию этого тренда повлияло Постанов-



ление Правительства Российской Федерации от 15.10.2016 № 1050 «Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации», которое и стало нормативным правовым основанием внедрения проектного управления в работу органов госвласти и местного самоуправления. Новации, основанные на опыте реализации приоритетных проектов и имеющейся практики разработки национальных проектов, отражены в Постановлении Правительства РФ № 1288 от 31 октября 2018 г. Задачи по внедрению проектной деятельности в органах госвласти и местного самоуправления конкретизировались с изданием Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»: национальные проекты стали механизмом достижения стратегических целей. По экспертным оценкам, около 60% планируемых в рамках нацпроектов мероприятий относятся к полномочиям субъектов РФ, поэтому регионам нужны подготовленные управленческие кадры в сфере проектного управления, а также управленческие команды, способные решать поставленные в национальных проектах задачи.

На формирование современных управленческих компетенций, необходимых для реализации национальных проектов «Образование», «Здравоохранение», «Культура», направлена Президентская программа подготовки управленческих кадров социальной сферы. Повышение квалификации управленцев социальной сферы организовано Академией при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС) в рамках госплана подготовки управленческих кадров для организаций народного хозяйства Российской Федерации (утв. Постановлением Правительства РФ от 13.02.2019 № 142), и Государственной программы Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика» (утв. постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 316).

Заказчиком Президентской программы выступает правительство. Отличительными её особенностями являются одновременный охват всех 85 субъектов Российской Федерации и всех уровней управления социальной сферы (от директоров сельских школ и учреждений культуры, главных врачей медицинских организаций до федеральных министров), а также разработка участниками Программы проектов, которые затем реализуются в конкретных учреждениях. В программе используются современные методы обучения: кейсы, компьютерные симуляторы, тренинги управленческих компетенций и технологии проектного обучения. За восемь лет в РАНХиГС подготовлены 30925 управленцев: руководители органов управления образованием, здравоохранением, культурой регионального и муниципального уровней, главные врачи, директора школ и профессиональных образовательных организаций, руководители государственных и муниципальных учреждений культуры. Участниками Президентской программы разработаны более 4200 проектов, из них 80% реализованы или находятся в стадии реализации.

«Мы оцениваем сотрудничество с Инжиниринговым дивизионом Госкорпорации «Росатом» как одно из лучших в мире, – отметил член правления Ассоциации управления проектами «СОВНЕТ» Владимир Полковников. – Серьезный интерес к теме управления проектами со стороны сотрудников компании и желание делиться своим опытом – это самое главное. На конференции участники получают актуальные знания и знакомятся с лучшими практиками, которые могут сразу применять в работе».

«Знание теории и лучших практик делает процесс управления проектами успешным и системным, – подчеркнул начальник отдела научно-технического развития АО ИК «АСЭ» Николай Леонтьев. – Именно системный подход и слаженная работа команды повышает личную эффективность каждого работника любого предприятия».

Сотрудничество вместо конкуренции

По ходу конференции будущие руководители крупнейших предприятий атомной отрасли делились своим представлением о том, что значит работать единой командой и почему это приобретает такую важную роль в современных условиях.

**У. С. Бабкина, АО ИК «АСЭ»,
Нижний Новгород:**

ПРОЦЕССНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ КОМПАНИИ

Процессное управление – управление предприятием, которое рассматривает предприятие как совокупность взаимосвязанных бизнес-процессов; профессиональная, управленческая деятельность, ориентированная на получение эффективных результатов путем успешного взаимодействия бизнес-процессов с применением принципов и методов процессного подхода.

Цель функционирования системы управления процессами: непрерывное повышение эффективности, результативности и прозрачности деятельности организаций за счет выстраивания процессов.

Выделение процесса как объекта управления позволяет выстроить сквозные процессы, нацеленные на конечный результат; устранить дублирование функций; повысить слаженность выполнения работ различными подразделениями; выстроить оргструктуру, ориентированную на эффективное выполнение процессов.

При применении проектного подхода работа предприятия становится более сбалансированной, эффективной, и самое главное, прозрачной. В целом такой подход повышает конкурентоспособность и финансовую устойчивость предприятия.

Процессное управление в проектно-ориентированной компании – это сочетание проектного и процессного подходов к управлению, где этапы эволюции сложного инженерного объекта формально описаны как движение от одной стадии жизненного цикла к другой. Такой подход позволяет не только лаконично сформировать организационную структуру предприятия, но и определить направления диверсификации бизнеса и быстро внедрить в организационную структуру новый проект. Проектный подход позволит контролировать ведение нескольких объектов одновременно (атомных электростанций), процессный позволит контролировать течение каждого бизнес-процесса, оптимизировать персонал и оставить в структуре только бизнес-процессы основной деятельности.

**Е. А. Дербаква, АО «Атомэнергопроект»,
Москва:**

КУЛЬТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Проблемы, связанные с осуществлением внедрения проектного мышления также связаны с имеющимися средствами календарно-сетевого планирования в организации, при создании которых вопросы, относящиеся к людям в организации, не рассматривались столь же тщательно, как технические или структурные аспекты.

Для решения поставленных задач в АО «Атомэнергопроект» создается своя информационная система. Помимо поиска решений по управлению проектами в технической сфере предприятия, команда разработчиков стала больше уделять внимания поведенческим факторам в работе организации и учитывать такие элементы культуры, как:

- гибкая стратегия по управлению талантами;
- стандартизация процессов с последующим постоянным процессом улучшения существующих практик;
- внедрение процессов передачи знаний проектами по средствам встраивания ее в организационную культуру. Передача знаний позволяет повысить эффективность работы команды за счет улучшенного взаимодействия, инноваций, обучения, генерации знаний;
- управление рисками – позволит компании выявлять угрозы для проекта и снизить их;
- организационная гибкость. В компании уже происходит использование Agile, а также циклических (incremental) и итеративных (iterative) методов, что позволяет серьезно повысить гибкость и успешность организации.

Вышеперечисленные мероприятия способствуют развитию культуры управления проектами во всей компании, но основной результат будет достигнут, если возрастет ценность каждого отдельно взятого сотрудника, ориентация его на результат, если сотрудник сделает процесс и результаты своей работы прозрачными, понятными и доступными для измерения, осуществит изменения при работе с информацией и будет владеть ситуацией в целом.

**И. А. Ерёмченко, АО «Атомэнергопроект»,
Москва:**

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И СПЛОЧЕНИЯ КОМАНД

Для решения практически каждой сложной задачи или цели требуется обладать определенными умениями, навыками и знаниями, которые чаще всего не присущи одному человеку. Решение подобных сложных задач, если их решать одновременно и в одиночку, может привести к ухудшению качества работы, неудачам и провалам в самых перспективных проектах.

По этой причине нужна слаженная и сильная команда, способная решать большое количество разных по сложности и направлению задач. Создать такую группу людей, стремящихся к достижению единого результата и заинтересованных именно в коллективной деятельности непросто.

Командообразование (team building) – это комплекс мероприятий, направленных для создания командного духа и повышения эффективности сотрудников организации, замена конкуренции на сотрудничество и как следствие гармоничное развитие компании.

Принципы командообразования могут меняться, но основные из них всегда неизменны. К ним относятся:

- формирование целей;
- коллективное выполнение задачи;
- индивидуальная ответственность перед командой;
- определение формы стимуляции;
- профессиональный рост;
- продуктивное функционирование.

**С. Л. Панышев, филиал ФГУП «РФЯЦ –
ВНИИЭФ» «НИИ измерительных систем
им. Ю. Е. Седакова», Нижний Новгород:**

«ФАБРИКА ПРОЦЕССОВ» КАК СПОСОБ КОМАНДООБРАЗОВАНИЯ

«Фабрика процессов» – обучающая площадка, предназначенная для освоения принципов и инструментов бережливого производства, открытая в НИИИС им. Ю. Е. Седакова в июле 2018 года. Одновременно на «Фабрике процессов» может обучаться группа от 11 до 15 человек.

«Фабрика процессов» НИИИС – это моделирование производственного процесса сборки реального изделия, производимого в НИИИС – блока концевых переключателей. Каждый обучающийся получает свою роль: один становится директором производства, другой – логистом и обеспечивает производство комплектующими, кто-то становится оператором и собирает прибор по деталям, а кто-то – специалистом по улучшениям и на себе примеряет нелегкую роль оптимизатора.

На площадке прошли обучение 350 сотрудников как предприятий Росатома, так и сторонних промышленных предприятий Нижегородской области.

Опыт проведения обучения на «Фабрике процессов» говорит о том, что площадка не только дает знания и навыки в области использования инструментов бережливого производства, но и является отличным командным тренингом, где каждый участник вовлечен в процесс достижения единого результата и от эффективности деятельности каждого зависит достижение поставленных целей. Таким образом, тренинг несет в себе большой элемент командообразования. Это подтверждается результатами анкетирования участников, проводимого в конце каждого тренинга: более 50% опрошенных участников в графе «Мне понравилось» отметили либо командную работу, либо напрямую командообразующий элемент тренинга.

Результат обучения каждой группы – рассчитанные показатели себестоимости и прибыльности производства, участниками которого были обучающиеся. В процессе обучения на «Фабрике процессов» участники по сути реализуют проект по оптимизации производственного процесса.

Высокие показатели производственного процесса обуславливаются наличием следующих факторов:

- авторитет директора (руководителя проекта);
- наличие сильного лидера в команде (не всегда им является директор);
- высокий уровень взаимодействия между участниками команды.

**Д. А. Самаров, АО ИК «АСЭ»,
Нижний Новгород:**

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Методология бережливого строительства достигает целей клиента с минимальными потерями. Этот подход прост и привлекателен в строительной отрасли, где бюджет, сроки, качество и безопасность являются критическими. Lean Construction (бережливое строительство) заимствовано из подхода к производству, разработанного компанией Toyota.

Важно отметить, что для бережливого строительства нет одного подхода. Существует ряд инструментов: система «Последний проектировщик», Integrated Project Delivery (реализация комплексных строительных проектов), BIM, 5S и Кайдзен, которые используются в комбинации для достижения бережливости. Это дает практическим работникам различные варианты, которые применимы к каждому проекту.

Вместе с тем существуют руководящие принципы, которые помогают строительным компаниям добиться меньших затрат, сократить время строительства, повысить производительность и качество управления проектами. Эти принципы представляют собой целостный подход к процессу строительства. По итогам аналитической работы были сделаны следующие выводы:

- практика показывает, что в инженеринговом дивизионе ГК «Росатом» преобладают методы организации работ поточным методом;
- многие западные и российские эксперты не видят необходимости выделять концепцию Lean Production как специфическое управленческое направление, поскольку принципы, заложенные в организацию производства по способу Lean Production, аналогичны требованиям стандартов ISO 9001:2000 и ISO/TS 16949:2002 и стандартам системного управления качеством (СМК). Требуется сертификация проекта и/или компании по международным стандартам бережливого производства, т. к. отсутствие сертификата означает, что риски в системе производства могут быть так велики, что гарантировать какое-либо качество невозможно;
- внедрение системы бережливого строительства требует политического решения и воли. Это диалог заказчика с заинтересованными сторонами – участниками строительного процесса в новом правовом поле. Обычно это использование специальных контрактов и специальных условий проведения тендеров и конкурсов. В целом, госкорпорации подчиняются 223 ФЗ и внутренним стандартам закупок, которые в существующей версии не позволяют существенно изменить регламент взаимодействия;
- ускорение строительства происходит благодаря интенсивному сотрудничеству инженеров различных специальностей. Эти отношения регламентированы рамками системы. Система должна динамично совершенствоваться, что представляется затруднительным, особенно в крупных госкорпорациях. Следует привлекать подрядные организации строительства к обсуждению проектной документации;
- самый заинтересованный персонал – рабочие, зарплата которых привязана к выработке – практически неограниченный ресурс для совершенствования в строительстве.

Разработка технологии изготовления коммутационных плат на алюминиевых основаниях для приборов силовой электроники

Т. Е. САРПОВА,
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
г. Саров

Силовая гибридная интегральная схема (СГИС) – конструктивно законченное изделие электронной техники, содержащее совокупность связанных между собой активных и пассивных элементов электрической схемы и отличающееся высокими рабочими напряжениями, токами и температурами.

Одна из проблем современной электроники заключается в разработке эффективных методов и технологий отвода тепла от радиоэлементов, расположенных на интегральной схеме, так как несвоевременный отвод тепла приводит к их быстрому перегреву и выходу из строя. Особенно остро эта проблема стоит перед разработчиками силовых полупроводниковых устройств, элементы которых могут работать при больших мощностях и в экстремальных климатических условиях, что ухудшает характеристики полупроводниковых приборов.

В настоящее время широкое применение нашли СГИС, которые могут функционировать при условии эффективного отвода тепла, осуществляемого через многослойную структуру к наружной поверхности корпуса. В разрабатываемой технологии изготовления платы это обеспечивается применением медной токоведущей разводки и теплоотводящего алюминиевого основания с диэлектрическим алюмооксидным слоем.

Применение металлических оснований является принципиально новым качественным этапом в развитии конструкции и технологии создания гибридных интегральных схем. Алюминиевые сплавы привлекают внимание благодаря удачному сочетанию своих свойств: высокая пластичность и теплопроводность, низкая стоимость, малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость и механическая прочность.

Целью работы, выполненной в Саровском ядерном центре, являлась разработка технологии изготовления коммутационных плат на алюминиевых основаниях с применением алюмооксидной технологии и базовых операций вакуумного напыления, фотоли-

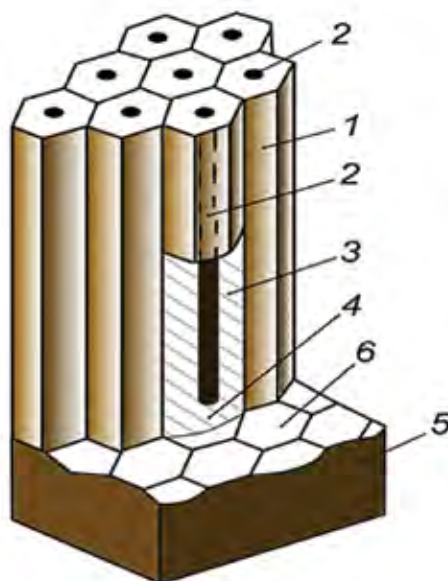


Рис. 1. Схематическое изображение структуры утолщенных анодных пленок/ 1 – окисная ячейка; 2 – пора; 3 – стенка окисной ячейки; 4 – беспористый окисный слой барьерного типа; 5 – алюминий; 6 – отпечатки оснований окисных ячеек на поверхности алюминия.

тографии, электрохимического осаждения металлов.

Основанием для выполнения данной работы стали разработка и внедрение производственно-технологических процессов изготовления радиоэлектронных приборов систем автоматики нового поколения.

Теоретическая часть

Необходимость быстрого и эффективного отвода тепла – одна из основных проблем полупроводниковых приборов. Одним из способов решения проблемы является использование оксидированного алюминия при производстве плат. С точки зрения использования в качестве подложек алюминий, единственный из известных металлов, обладает ещё одним уникальным свойством, а именно способностью образовывать в процессе окисления толстые (до сотен микрон) собственные высококачественные диэлектрические слои.

Основой технологии является электрохимический процесс анодного окисления (анодирования) алюминия и его сплавов в водных или безводных растворах электролитов. Процесс анодирования позволяет превращать исходный алюминий в его оксид Al_2O_3 , который является хорошим диэлектриком. Анодно-ок-



Рис. 2. Установка выращивания алюмооксидных слоев «Дельта-2/4. АНОКС-К»

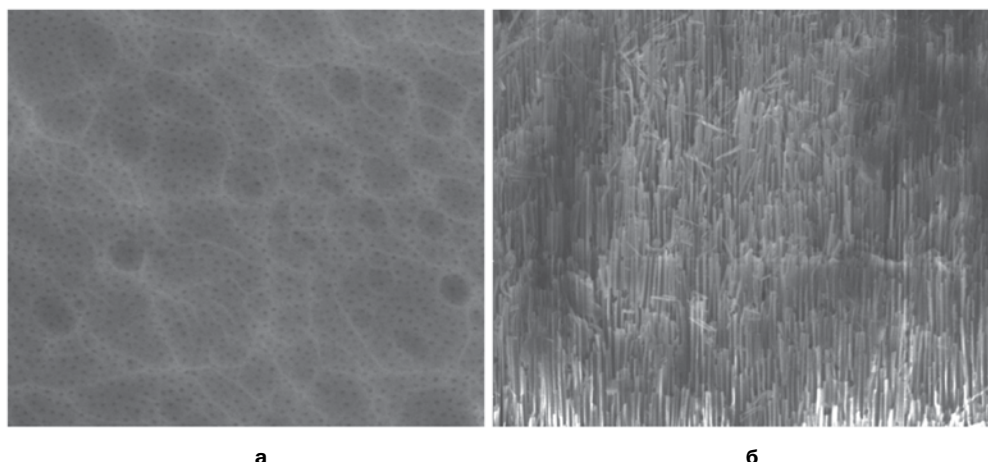


Рис. 3. Оксид алюминия: а – поверхность оксида алюминия; б – структура оксида алюминия

сидная плёнка состоит из непосредственно примыкающего к металлу тонкого барьерного слоя и пронизанного многочисленными порами наружного слоя (Рис. 1). Толщина пористого оксида может достигать сотен микрон.

Экспериментальная часть

Изготовление коммутационной платы на алюминиевом основании осуществлялось по разработанному технологическому процессу.

Химическая подготовка поверхности алюминиевых оснований проводилась в два этапа:

- травление поверхностного слоя (удаление с поверхности оснований различных дефектов и загрязнений, полученных в результате механической обработки);
- химическая полировка поверхности.

Осуществлялся процесс толстослойного анодирования на установке выращивания алюмооксидных слоев «Дельта-2/4. АНОКС-К» в 5% растворе щавелевой кислоты ($H_2C_2O_4$) в гальваностатическом режиме (Рис.2) [1, 2].

Поверхность и структура оксида алюминия после проведения процесса толстослойного анодирования представлена на Рис. 3.

Процесс заполнения пор оксидированного алюминия проводился с применением позитивного фоторезиста ФП-2550 и состоял из следующих операций:

- нанесение фоторезиста на поверхность диэлектрического слоя алюминиевого основания;
- пропитка в вакууме;
- ступенчатое задубливание фоторезиста в порах диэлектрического слоя.

Для оценки качества заполнения пор диэлектрического слоя были проведены исследования электрофизических свойств толстослойного оксида алюминия [3].

На алюминиевые основания с диэлектрическим слоем напылялись металлизированные слои «ванадий-медь» общей толщиной от 3,0 до 3,5 мкм для формирования токопроводящего слоя.

Методом фотолитографии на напылённых слоях «ванадий-медь» формировалась фоторезистивная защитная контактная маска для последующего осаждения гальванической меди (Рис. 4).

Проводился процесс формирования толстослойного гальванического медного покрытия на алюминиевых основаниях. В результате проведенного процесса толщина гальванического медного покрытия составила не менее 30 мкм. После окончания процессов удалялась защитная фоторезистивная маска [4].

Осуществлялся процесс формирования топологии платы на металлизированных слоях «ванадий-медь-гальваническая медь» методом фотолитографии (Рис. 5).

На последнем этапе изготовления коммутационной платы проводился процесс травления слоев «ванадий-медь» в местах отсутствия фоторезистивной маски. После окончания процессов удалялась защитная фоторезистивная маска и проводилась термообработка изготовленной платы.

Изображение коммутационной платы на алюминиевом основании представлено на Рис. 6.

В процессе реализации данной работы использование эффективного сочетания микронных технологий, нанотехнологий и технологий изготовления печатных плат позволило создать замкнутый технологический процесс изготовления коммутационных плат на алюминиевых основаниях для приборов силовой электроники и разработать ряд производственных технологических процессов.

По данному технологическому процессу были изготовлены коммутационные платы на алюминиевых основаниях, которые прошли проверку на целостность электрических цепей и отсутствие короткого замыкания, проверку сопротивления изоляции между электрически не связанными цепями и проверку электрической прочности платы. Электрическая прочность изоляции между элементами проводящего слоя и электрическая прочность изоляции диэлектрического слоя между элементами проводящего слоя и металлическим основанием соответствовала выставленным требованиям, т. е. пробой не происходил при нарастании испытательного напряжения или в ходе выдержки при испытательном напряжении.

Коммутационные платы, изготовленные по алюмооксидной технологии с применением уникального метода уплотнения пор, являются по термическим и электрофизическим характеристикам сопоставимыми с керамическими основаниями из нитрида алюминия. Платы, выполненные на алюминиевых основаниях, отличаются высокой термической прочностью, характеризуются возможностью их изготовления больших размеров с высокой плотностью монтажа.

Разработанная технология изготовления коммутационных плат на алюминиевых основаниях может быть использована при разработке и изготовлении радиоэлектронных приборов систем автоматики нового поколения, имеющих в своем составе радиоэлектронные модули с повышенным выделением тепла [5].

Литература:

1. Томашев Н. Д., Тюкин М., Заливалов Ф. П. Толстослойное анодирование алюминия и алюминиевых сплавов. М., «Машиностроение», 1986. – 157 с.
2. Шрейдер А. В. Оксидирование алюминия и его сплавов. – Москва: «Металлургиздат», 1960. – 224 с.
3. Сокол В. А. Электрохимическая технология гибридных интегральных микросхем: Моногр./В. А. Сокол – Минск: Бестпринт, 2004. – 360 с.
4. Вайнер Я. В., Дасоян М. А. Технология электрохимических покрытий. Учебник для химических техникумов. Изд. 2-е. Л., «Машиностроение», 1972. – 464 с.
5. Отчет «Проведение комплекса работ по разработке технологий изготовления приборов автоматики нового поколения в условиях опытного производства». № 18.06.07.11.21.32.ОТ10-2018 от 29.10.2018, Морозов В. Н., Короткова Г. П., Сарпова Т. Е. и др.



Рис. 4. Фоторезистивная защитная маска для гальванического меднения

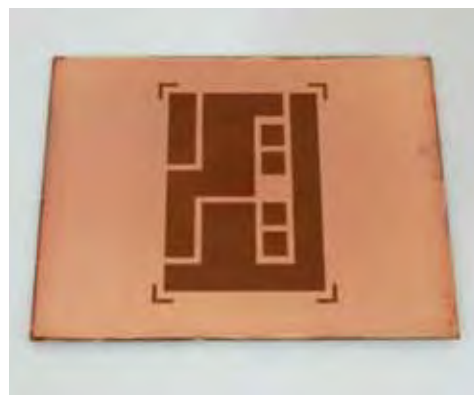


Рис. 5. Маска для травления тонкого слоя меди



Рис. 6. Коммутационная плата на алюминиевом основании

Разработка технологии изготовления магниторезистивных преобразователей с повышенной разрешающей способностью для датчиков малых магнитных полей

С. В. ГОРОХОВ, А. В. НЕГИН, В. Е. СЕРГЕЕВ,
филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
«НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,
г. Нижний Новгород

В настоящее время широкое применение находят анизотропные магниторезистивные датчики, предназначенные для бесконтактного измерения скорости и направления вращения зубчатых колес и многополюсных роторов энкодеров, определения угла поворота или величины линейного перемещения, бесконтактного измерения тока (мощности), а также для определения курса объекта по магнитному полю. С повышением требований к точностным характеристикам магнитных датчиков для создания современных перспективных навигационных комплексов и систем контроля встает задача по разработке технологии изготовления отечественных первичных магниторезистивных преобразователей (МРП) магнитного поля на анизотропном магниторезистивном эффекте с характеристиками на уровне зарубежных аналогов.

Так, ММС 1021 производства Honeywell имеют следующие характеристики:

- удельная чувствительность – не менее 0,8 мВ/ВЭ;
- нелинейность передаточной характеристики – не более 0,1% в диапазоне магнитных полей ± 13 ;
- нестабильность выходного напряжения – не более 6 мкВ после подачи установочных импульсов «set/reset».

Конструкция магниторезистивных преобразователей МРП представляет собой многослойную структуру, состоящую из магниторезистивного моста Уинстона и пленочной катушки индуктивности «set/reset», создающей установочные импульсы. В исходном состоянии магнитная (доменная) структура магниторезистивных полосок хаотична и измерение величины магнитного поля не производится. Подача короткого импульса тока длительностью 1-2 мкс через катушку «set/reset» формирует поле, ориентирующее магнитные домены всех магниторезистивных полосок в направлении оси легкого намаг-

ничивания (ОЛН), тем самым выводя магниторезистивный мост Уинстона в режим максимальной чувствительности. Катушка «set/reset» выполняет также еще одну важную функцию — инвертирование передаточной характеристики для исключения влияния температурного дрейфа элементов моста Уинстона, ошибки, вызванной нелинейностью передаточной характеристики, а также потерю слабого сигнала на фоне сильных паразитных полей [1].

Ортогональное расположение двух и трёх МРП позволяет изготовить датчики курса (азимута) по магнитному полю Земли – магнитометры для навигационных систем.

Одними из основных параметров, определяющих разрешающую способность МРП по магнитному полю, являются чувствительность и стабильность выходного сигнала.

Величина выходного напряжения магниторезистивного моста Уинстона после подачи установочных импульсов «set» и (или) «reset» катушкой индуктивности задаёт точность измерения величины магнитного поля. В составе датчика магнитного поля стабильность выходного напряжения будет определять точность измерения магнитного поля или среднеквадратичное отклонение (СКО) магнитного поля. Следует отметить, что стабильность выходного напряжения МРП зависит как от конструкции магниторезистивного моста Уинстона, так и от технологии его изготовления.

Для напыления магниторезистивной структуры использовалась вакуумная установка электронно-лучевого испарения «Оратория-9М», содержащая две электронные пушки FerroTec EVM-8, позволяющая напылять до восьми различных материа-

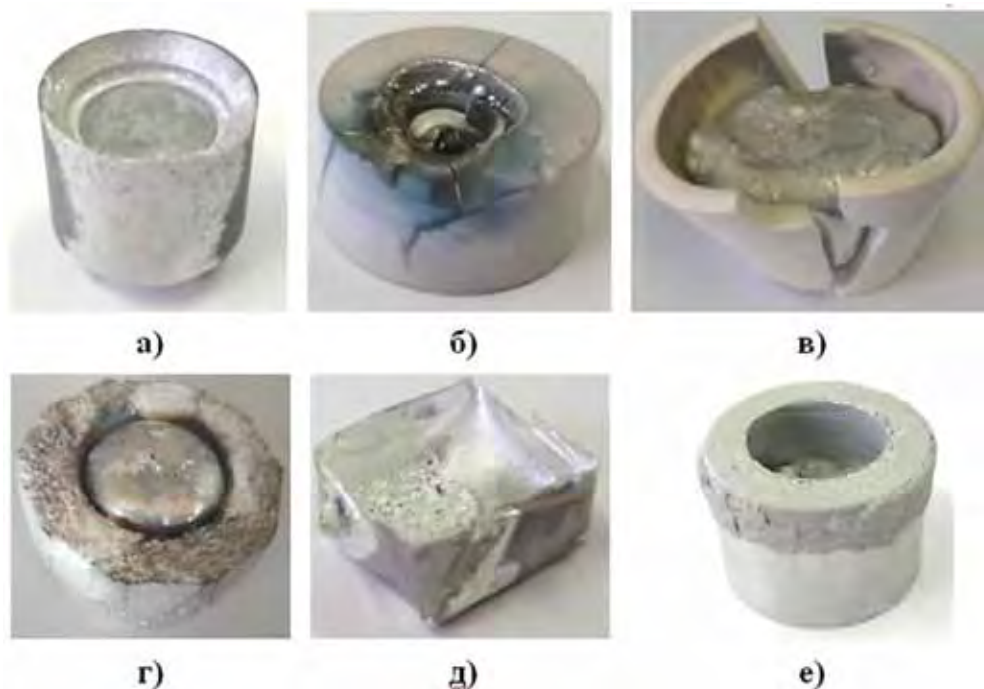


Рис. 1. Тигли – лайнеры, использовавшиеся при отработке напыления алюминия на установке электронно-лучевого испарения «Оратория-9М»: а) лайнер из диборида титана; б) лайнер из керамики «Кортим»; в) литой лайнер из корунда; г) прессованный лайнер из корунда; д) лайнер-лодочка из тантала; е) лайнер из молибдена.

лов. На первых этапах исследований для формирования моста Уинстона использовалась структура 47НК – Та – Cu – 47НК [2], где 47НК – сплав с химическим составом Ni(65%)Co(20%)Fe(15%), Та – защитный слой, Cu – проводящий слой.

Напыление магниторезистивной структуры производилось за один цикл откачки вакуумной камеры. Получаемые образцы имели характеристики на уровне зарубежных аналогов лишь на единичных образцах, выход годных составлял не более 1–3%. Основными параметрами, по которым браковались получаемые МРП, были высокий разбаланс моста Уинстона и нестабильность выходного сигнала. Величина разбаланса зависит в большей степени от выполнения операции фотолитографического травления, значения же нестабильности выходного сигнала напрямую зависят от толщины слоев, температуры напыления, времени выдержки и величины наведенного магнитного поля.

Для получения требуемых значений МРП и повышения процента выхода годных на следующем этапе исследований была выбрана магниторезистивная структура моста Уинстона на основе 47НК – Та – Al, взамен ранее использовавшейся. Смена структуры моста Уинстона обусловлена опасностью появления контакта Cu-Al, с возникновением химического потенциала на границе до 1В, при разварке алюминиевыми перемычками и присутствия дополнительного (защитного) магнитного слоя, способного негативно повлиять на характеристики МРП. Для этого были проведены работы по отработке технологии получения стабильного напыления алюминия толщиной 0,7–1 мкм на установке «Оратория-9М».

Следует отметить, что напыление алюминия электронно-лучевым методом является трудновыполнимой и трудновоспроизводимой задачей. Наиболее часто используемый метод напыления пленок алюминия – магнетронное распыление.

На первых этапах исследований было экспериментально определено, что при напылении проводникового слоя на сформированные отдельно стоящие магниторезистивные полоски и последующем формировании проводящего слоя образуется большое переходное сопротивление между проводящими и магниторезистивными элементами, вследствие образования на последнем окисного слоя. Изготовленные МРП имели неудовлетворительные характеристики. Для устранения данного факта было принято решение напылять пленки 47НК – Та – Al за один цикл откачки на установке «Оратория-9М».

Напыление алюминия из слитка, установленного в карман испарителя электронной пушки FerroТес установки «Оратория-9М», оказалось невозможным (из-за высокой теплопроводности алюминия и значительной температуры испарения порядка 1200°C стабильного процесса испарения получить не удалось). Поэтому для отработки стабильного процесса напыления использовались дополнительные тигли – лайнеры из керамики и

тугоплавких металлов, устанавливающиеся в карман испарителя и представленные на рисунке 1. Лайнеры из корунда были предоставлены для экспериментальных работ Московским политехническим университетом, остальные лайнеры были изготовлены в НИИИС им. Ю. Е. Седакова. Наиболее эффективно показал себя лайнер из молибдена (рисунок 1е). Остальные испытываемые лайнеры были отсеяны либо по причине разрушения лайнера из-за неравномерного нагрева от электронного луча (рисунки 1а, 1б, 1в), либо по причине отсутствия стабильного напыления (рисунки 1г, 1д).

За основу технологического процесса изготовления МРП взят процесс, указанный в литературе [2]. Процесс изготовления МРП состоит из следующих этапов:

- напыление магниторезистивной структуры 47НК – Та – Al на установке электронно-лучевого испарения «Оратория-9М»;
 - фотолитография структуры 47НК – Та – Al с получением топологии моста Уинстона;
 - нанесение изоляционного слоя лака АД-9103 с последующей его имидизацией;
 - фотолитография изоляционного слоя;
 - напыление проводниковой структуры V-Al;
 - фотолитография проводникового слоя с получением топологии катушки «set/reset».
- В качестве подложки использовалась пластина монокристаллического кремния с нанесенными на нее изолирующими слоями. Для получения топологического рисунка моста Уинстона использовалась фоторезистивная маска фоторезиста – microposit S1813SP15.

Травление структуры происходило в два этапа:

- травление слоя Al;
- травление слоев 47НК – Та.

Критерияльными параметрами процесса являлись селективность травителя и отсутствие сквозных «дырок» (питтингов) в магниторезистивных полосках.

Был разработан состав травителя и отработан режим травления, при котором элементы МРП имеют четкие и ровные края. После травления структуры 47НК – Та – Al проводился контроль внешнего вида и измерение элементов магниторезистивного моста Уинстона на микроскопе МИКРО-200Т-01 при 320^x увеличении. Подтрав структуры составил до 4 мкм – для магниторезистивных полосок и до 2 мкм – для проводникового слоя, при этом отсутствовали питтинги на открытых участках магниторезистивных полосок. Отработка данного процесса фотолитографического травления позволила повысить процент годных образцов по разбалансу моста Уинстона в 1,5–2 раза по сравнению со структурой 47НК – Та – Cu – 47НК.

На изготовленных образцах МРП по данной технологии проверялась адгезия сварных соединений методом ультразвуковой сварки. Усилие отрыва алюминиевой перемычки (шириной 400 мкм и толщиной 50 мкм) составило более 20 г, отрыв происходил по переходу (сварное соединение – металлизация).

Были проведены исследования магнитных параметров структуры

47НК-Ta-Al с целью определения возникновений внутренних напряжений. Измерения проводились на базе технологического центра МИЭТ (г. Зеленоград) магнитооптическим методом Керра.

Для измерений магнитных параметров были изготовлены следующие образцы:

- пленка сплава 47НК на пластине монокристаллического кремния с изоляционными слоями SiO₂ и Si₃N₄;
- структура 47НК-Ta-Al, напыленная на кварцевое стекло.

Использование двух образцов обусловлено особенностями определения магнитных характеристик оптическим методом Керра. При снятии петли гистерезиса методом Керра необходимо, чтобы луч от источника (лазера, светодиода) падал непосредственно на поверхность магнитного материала (либо через прозрачные среды). Так как магнитный сплав 47НК в структуре 47НК-Ta-Al «скрыт» от луча проводящим слоем Al и защитным слоем Та, то было принято решение напылять структуру на подложку из кварцевого стекла толщиной 0,15 мм. Для определения магнитных параметров образец просвечивался с обратной стороны кварцевой подложки – т. е. со стороны слоя сплава 47НК. Малая толщина кварцевого стекла обеспечивает минимальное влияние на измерения магнитных параметров.

Графические представления петель гистерезиса образцов, снятые в направлении осей легкого (ОЛН) и трудного (ОТН) намагничивания, представлены на рисунке 2. По осям отложены значения величины магнитного поля и условные единицы интенсивности света на приемнике.

На петлях гистерезиса, снятых с образцов 47НК-Ta-Al, присутствуют незначительные шумы (рисунок 2в, 2г) качественно не влияющие на форму петли гистерезиса. Скорее всего, это связано с наличием дополнительной прозрачной среды – кварцевой подложки. Полученная форма петли гистерезиса указывает на отсутствие внутренних напряжений в структуре.

На образце монокристаллического кремния, в районе поля анизотропии (рисунок 2б), присутствует сильный скачок на петле гистерезиса, который, скорее всего, вносит вклад в нестабильность выходного сигнала МРП. При измерении магнитного поля пленочная катушка индуктивности формирует установочный импульс – «set» (или «reset»), который переводит магниторезистивные полоски плеч моста Уинстона в режим насыщения (горизонтальный участок на петле гистерезиса), при этом происходит «выстраивание» доменной структуры в направлении ОЛН. После импульса «set» (или «reset») происходит измерение магнитного поля в зависимости от ориентации протекающего тока в магниторезистивных полосках и внешнего магнитного поля, которое поворачивает домены на угол θ , в результате чего в выходной диагонали моста Уинсто-

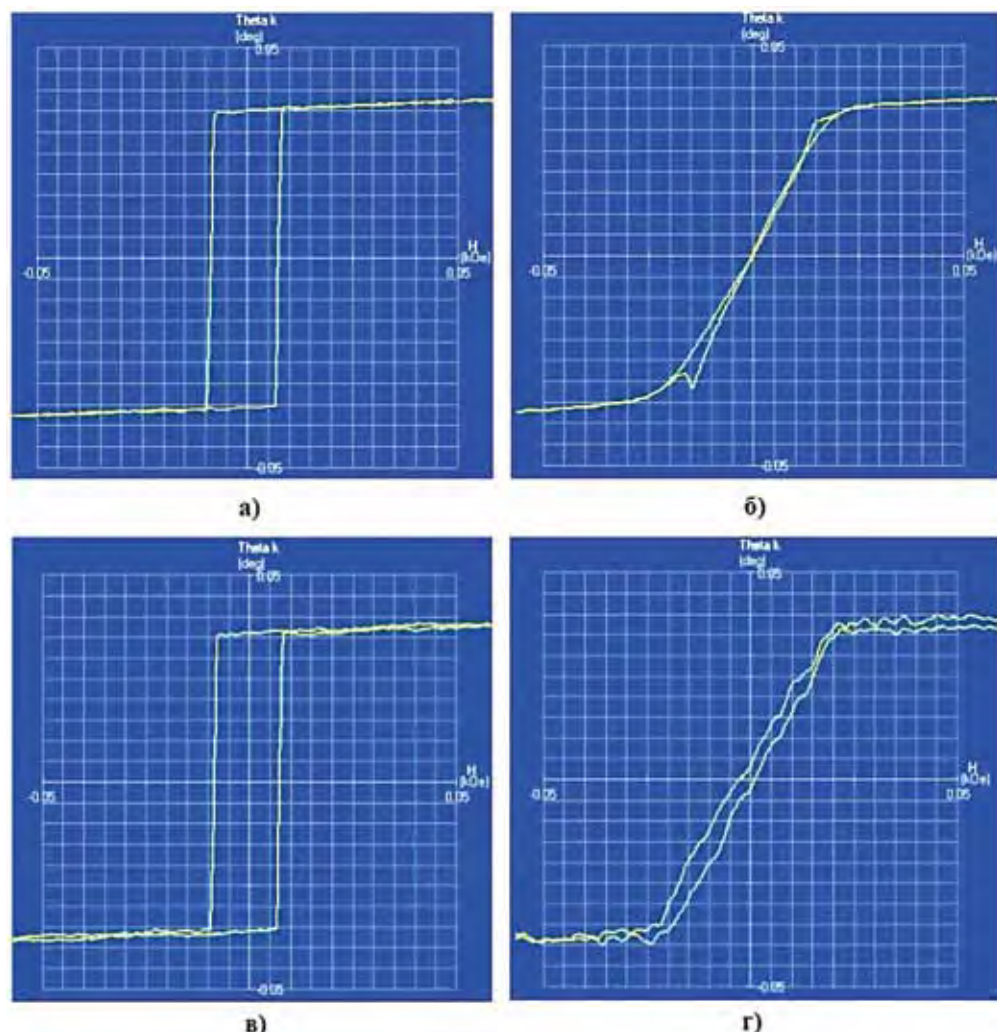


Рисунок 2. Петли гистерезиса магниторезистивной плёнки: а) 47НН на подложке монокристаллического кремния по ОЛН; б) 47НН на подложке монокристаллического кремния по ОТН; в) 47НН-Ta-Al на подложке из кварцевого стекла вдоль ОЛН; г) 47НН-Ta-Al на подложке из кварцевого стекла вдоль ОТН

на образуется сигнал от воздействующего внешнего магнитного поля.

В идеальном случае все домены должны быть ориентированы строго в одном направлении и после каждого импульса ориентироваться в одном и том же направлении в этом случае имеет место быть когерентное вращение. Повторяемость значений выходных напряжений в таком случае будет высока. За счет того, что на измеренных образцах наблюдается скачок на петле гистерезиса, часть доменов будет перемагничиваться не когерентным вращением, а скачкообразно. В результате исходное состояние структуры магниторезистивных полосок (при каждом установочном импульсе) будет различным, а следовательно, появится и значительная компонента нестабильности выходного напряжения магниторезистивного моста Уинстона.

На пластину монокристаллического кремния, прошедшую исследование петли гистерезиса оптическим методом Керра, была допылена структура Ta-Al для формирования целостной структуры 47НН-Ta-Al с последующим получением топологии мостов Уинсто-

на. Изготовленные на основе полученных мостов Уинстона МРП были установлены на макет датчика магнитного поля, на котором определялась удельная чувствительность и СКО магнитного поля. Измеренная чувствительность имела удовлетворительные значения более 0,8 мВ/ВЭ, но СКО магнитного поля значительно превышало требования разработчиков и составило более 300 нТл (необходимый уровень не более 150 нТл).

По результатам измерений магнитных параметров было выдвинуто предположение о влиянии неравномерного прогрева монокристаллического кремния. Конструкция установки «Оратория-9М» включает в себя четыре группы нагревателей, расположенные через 90°, и над каждым испарителем располагается по одной группе нагревателей.

Технологический процесс напыления на установке пленки сплава 47НН и магниторезистивной структуры 47НН-Ta-Al происходит с поворотом карусели на 180°. При переводе карусели с подложкой на позицию распыления происходит понижение температуры с последующим ее нагревом. Ввиду

высокой теплопроводности кремния (149 Вт/(м×К)) используемые подложки на его основе не позволяют получать магниторезистивную пленку с высокой однородностью доменных структур. Малая теплопроводность кварцевого стекла (1,38 Вт/(м×К)) позволяет получать пленки с однородной доменной структурой, однако подложки из данного материала значительно уступают по механическим свойствам подложкам из монокристаллического кремния. Кроме того, в процессе исследований была измерена шероховатость поверхности подложек с помощью атомно-силового микроскопа. Качество поверхности подложек из кварцевого стекла также уступает качеству поверхности пластин монокристаллического кремния. Таким образом, использование подложек из кварцевого стекла настоящими исследованиями признано нецелесообразным.

Дальнейшие исследования были направлены на уменьшение неравномерного прогрева пластин монокристаллического кремния. С этой целью были проведены экспериментальные работы по напылению магниторезистивных структур на монокристаллический кремний с использованием «аккумулятора тепла» и дополнительными выдержками в процессе отжига и напыления структуры. На полученных структурах данным способом напыления были изготовлены образцы МРП. Образцы МРП имели удельную чувствительность 0,8–0,9 мВ/ВЭ, нелинейность не более 0,1% в диапазоне магнитных полей ± 1 Э, а СКО составило 60–80 нТл. Выход годных образцов составил порядка 20%.

В ходе выполнения исследований была разработана технология изготовления МРП с характеристиками на уровне зарубежных аналогов и с выходом годных образцов не менее 20%. Данные МРП являются основой для создания различных датчиков магнитного поля:

- магнитометров с диапазоном магнитных полей ± 1 Э;
- бесконтактных пороговых датчиков и датчиков угла поворота с напряженностью магнитного поля более 8 мТл.

Проведенные исследования вносят вклад в решение задачи по созданию отечественного первичного преобразователя магнитного поля взамен импортных.

Литература:

1. Модульные и компонентные магниторезистивные датчики и компасы Honeywell. Часть I // Маргелов А. // Новости электроники, № 10, 2006.
2. Патент №2617454РФ, МПКС1 Н01L 43/12. Способ изготовления магниторезистивного датчика / Гусев В. К., Негин А. В., Андреева Т. Г., Горохов С. В. // Изобретения, полезные модели. Официальный бюллетень. 2017. № 12.

Особенности разработки технологии изготовления многослойных печатных плат с многоуровневыми межсоединениями для применения в сверхбыстродействующих цифровых устройствах со скоростями передачи данных до 10 Гбит/с

**Т. Е. КАРНАЕВА, Т. П. ЛЮБИМОВА,
Л. Н. СУЧКОВА, А. В. КОВАЛЕВ,
филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
«НИИИС им. Ю. Е. Седякова»,
г. Нижний Новгород**

Для достижения высокого уровня развития сверхбыстродействующих цифровых устройств, необходимы устройства, обеспечивающие передачу цифровых сигналов с высокими скоростями (до десятков Гбит/с) при приемлемых искажениях. Системы, работающие на таких скоростях, должны иметь характеристики линий передачи, обеспечивающие минимальные потери и искажения сигналов. Линии связи должны обладать специальными высокочастотными свойствами и обеспечивать заданное волновое сопротивление. Основным конструкционным носителем и средством соединения электронных компонентов при разработке современных цифровых электронных устройств является печатная плата. Именно она во многом определяет быстродействие электронной аппаратуры.

**ТРЕБОВАНИЯ К МПП
ДЛЯ СВЕРХБЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ
УСТРОЙСТВ**

Основные требования, предъявляемые к печатным платам для обеспечения быстродействия следующие:

1. Применяемые диэлектрики должны иметь:
- низкое значение диэлектрической проницаемости, стабильное в широком диапазоне частот и с регламентированным допуском (на уровне 0,05 и ниже); очень низкое значение потерь в диэлектрике (0,005 и менее);

– медную фольгу с низким или очень низким профилем (от 5 до 2 мкм соответственно).
- Обычные стеклоэпоксидные фольгированные диэлектрики на таких частотах неработоспособны и заменяются на специальные полимерные материалы с наполнителями на основе керамических порошков, фторопластовых суспензий и т.д., имеющие стабильное значение диэлектрической проницаемости с регламентированным допуском и малый тангенс угла диэлектрических потерь до 0,001 в области частот до 20 ГГц и выше. Фольгированные материалы с такими характеристиками еще называют СВЧ диэлектриками. Ранее в своих разработках мы опробовали материалы, представленные на рисунке 1. Для исследований был выбран материал фирмы Hitachi из-за наилучших электрических характеристик и большого выбора толщин диэлектрика, препрега и фольги.
2. Предельно допустимые отклонения ширины проводников микрополосковых и полосковых линий передачи, дифференци-

альных пар должны быть в пределах $\pm 10\%$. Для выполнения этого требования проведены исследования [1], отработаны режимы и технологические приемы.

3. Волновое сопротивление дифференциальных пар должны быть в пределах $\pm 10\%$. В качестве основных видов линий передач высокоскоростных сигналов в платах применяются дифференциальные пары, две линии передачи с определенной электромагнитной связью между ними. Чем больше электромагнитная связь между линиями, тем выше качество передачи сигнала. Конструктивно дифференциальные пары могут быть выполнены в виде компланарных, микрополосковых, полосковых.

Построение цифровой обработки информации на основе специально сформированных дифференциальных сигналов является наиболее перспективным направлением в развитии цифровой техники [2]. Если первые два требования можно обеспечить корректным выбором материалов после предварительного расчета стека слоев и точным воспроизведением параметров технологического процесса изготовления МПП, то для получения расчетного значения волнового сопротивления нужно еще получить межслойные переходы, исключаящие потери или обеспечивающие минимальные с учетом частотной зависимости диэлектрической постоянной.

Электрофизические свойства	Марка материала			
	DURAVR-E-Cu quality 104 ML(FR-4) фирмы ISOLA	MCL-FX-II фирмы Hitachi	R043508 фирмы ROGERS	R04003C фирмы ROGERS
Поверхностное электрическое сопротивление, МОм	1,3x10 ⁶	1,0x10 ⁹	5,7x10 ⁹	4,2x10 ⁹
Удельное объемное электрическое сопротивление, Мом.см	6,1x10 ⁶	1,1x10 ¹⁰	1,2x10 ¹⁰	1,7x10 ¹⁰
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,020 на 1 МГц	0,0060 на 15 ГГц	0,0037 на 10 ГГц	0,0027 на 10 ГГц
Диэлектрическая проницаемость	4,8 + 0,15 на 1 МГц 4,5 + 0,15 на 1 МГц	3,40 на 15 ГГц	3,48 + 0,05 на 10 ГГц	3,38 + 0,05 на 10 ГГц
Толщина материала, мм	0,05; 0,075; 0,1; 0,125; 0,15; 0,2; 0,25; 0,36; 0,41; 0,46; 0,51; 0,56; 0,61; 0,71; 0,76; 0,9; 1,0; 1,08; 1,2	0,06; 0,1; 0,13; 0,2; 0,26; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6	0,101; 0,168; 0,254; 0,338; 0,422; 0,508; 0,762; 1,524	0,203; 0,305; 0,406; 0,508; 0,813; 1,524
Толщина фольги, мкм	5, 18, 35, 70, 105, 210	12, 18, 35, 70	17, 34, 70	17, 34, 70

Рис. 1. Сравнительные характеристики фольгированных СВЧ диэлектриков

Главными элементами проводящего рисунка, влияющими на получение заданного волнового сопротивления, являются линии передачи, образованные микрополосковыми, полосковыми и т. п. линиями и межслойными переходами. Роль межслойных переходов выполняют металлизированные отверстия. Они могут быть сквозными, скрытыми, глухими. Так как воспроизведение проводников и зазоров с заданной точностью возможно обеспечить технологически, то выбор вида межслойных переходов и их изготовление являются основной задачей исследований по разработке технологии изготовления МПП с многоуровневыми межсоединениями для применения в сверхбыстродействующих цифровых устройствах.

Так как полосковые дифференциальные пары расположены на внутренних сигнальных слоях, то с другими слоями они могут быть связаны только металлизированными отверстиями. Если это сквозные металлизированные отверстия, то емкость металлизированного переходного отверстия создает неоднородность в линии передачи и дополнительную распределенную емкостную нагрузку, потому что при создании связи используется только часть металлизации отверстия до определённого слоя. Оставшийся незадействованный участок цилиндра металлизации работает как антенна, создавая неоднородность. Емкость отверстия прямо пропорциональна диаметру отверстия и его длине. Если выполнить металлизированное отверстие только до определённого слоя (глухое, не имеющее выхода на другую сторону платы), то тем самым можно уменьшить длину цилиндра и, соответственно, минимизировать отрицательное воздействие емкости отверстия [2].

ВЫБОР МЕЖСЛОЙНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Глухие отверстия можно получить лазерным или механическим сверлением на специальном дорогостоящем оборудовании, имеющемся далеко не на каждом предприятии.

В общем понимании глухое отверстие – это отверстие, выполненное сверлением с внешнего слоя на заданную глубину. При механическом сверлении на заданную глубину основными проблемами являются получение оптимальной глубины сверления с сохранением гарантированного диэлектрического зазора до следующего проводящего слоя и металлизация с заполнением глухих отверстий. Гарантию электрической изоляции дает диэлектрический зазор между дном глухого отверстия и следующим токопроводящим слоем [3], и зазор этот должен быть не менее 0,1 мм. Поэтому для фольгированных диэлектриков толщиной 0,1 мм и менее получение глухих отверстий сверлением на заданную глубину невозможно. В своих исследованиях мы использовали материалы толщиной менее 0,1 мм и разработали технологию получения так называемых псевдоглухих отверстий механическим сверлением, пригодную для материалов любой толщины – технологию поэтапного прессования.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЭТАПНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Технология заключается в следующем: внешние слои последовательно прессуются с внутренними сигнальными слоями в полупакеты. С помощью сквозных металлизированных отверстий (для обеих сторон платы) создаются межслойные переходы (на-

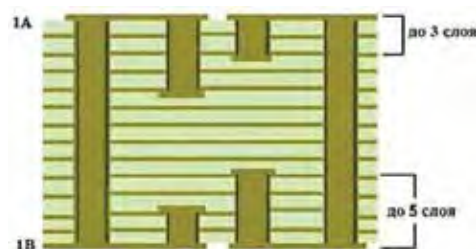


Рис. 2. Межслойные переходы по технологии поэтапного прессования

пример, с 1-го на 3-й слой). Затем к полупакету прессуется следующий сигнальный слой и создаются следующие межслойные переходы (с 1-го слоя на 5-й). При прессовании сквозные отверстия заполняются смолой и становятся по функциональности глухими (Рис. 2).

Процесс изготовления состоит из следующих операций:

А) Изготовление первого полупакета МПП:
– изготовление рисунка внутренних слоев;
– прессование;
– сверление сквозных отверстий;
– химическая металлизация отверстий с гальванической затяжкой;
– селективное наращивание меди в отверстия и на контактные площадки;
– получение рисунка внутренней стороны полупакета травлением.

Б) Изготовление второго полупакета МПП:
– изготовление рисунка следующего внутреннего слоя;
– прессование слоя к первому полупакету с внутренней стороны;
– планаризация – удаление излишков смолы с поверхности платы, вытекшей через отверстия первого полупакета на наружную сторону, и выступающих после металлизации контактных площадок вокруг отверстий;
– сверление сквозных отверстий и т. д.

Новые элементы технологии: селективная металлизация, заполнение отверстий смолой, планаризация.

Для получения качественной металлизации в отверстиях из новых конструкционных материалов потребовалась корректировка режимов сверления и перманганатной подготовки. Неправильно подобранные режимы сверления приводят к появлению дефекта «шляпка гвоздя», значительному наволакиванию смолы на стенки отверстий и в результате отсутствию контакта между торцом контактной площадки и стенкой металлизированного отверстия. Для СВЧ материалов требуется задавать или большее время обработки в ваннах перманганатной очистки, или увеличивать температуру очистки.

В наших исследованиях при изготовлении МПП с многоуровневыми межсоединениями была применена селективная металлизация глухих отверстий. Наращивание меди производилось только на контактные площадки и в отверстия. При применении этого метода проблемой становится равномерность наращивания меди на поверхность из-за малой площади металлизации (только контактные площадки и отверстия). В таких случаях происходит зарастание контактных площадок, образование подгаров, наростов по краям. Для исключения этих дефектов применили в ванне гальванической металлизации дополнительные экраны из меди, расположив их по периметру платы, увеличив равномерность распределения тока по поверхности платы. Кроме этого, пришлось в два раза снизить катодную плотность тока до 1А, увеличив время осаждения меди до полутора часов.

При выполнении глухих отверстий методом сверления и металлизации полупакетов особое значение приобретает соотношение толщины печатного слоя и диаметра металлизированного глухого отверстия. От этого соотношения зависит полнота заполнения отверстия смолой при прессовании. Согласно ГОСТ Р 55693 глухие отверстия должны быть обязательно заполнены для предотвращения попадания припоя в отверстия и снижения надежности. В нашем случае они заполняются смолой препрега при прессовании. Для поддержания регламентированного диэлектрического зазора между слоями в высокоскоростных МПП применяются малотекучие препреги. Структура МПП для высокоскоростного применения не допускает неоднородности в виде пустот, так как они могут привести к искажениям и потерям. Поэтому крайне важно знать, насколько полно и равномерно заполняются отверстия при прессовании. В ходе разработки технологии проведены исследования зависимости влияния толщины полупакета и диаметра металлизированного отверстия на полноту заполнения отверстия смолой на примере тестовых образцов полупакетов из материала MCL-FX-2 и препрега GFA-2 фирмы Hitachi Chemical. В состав каждого образца входили группы металлизированных отверстий с диаметрами от 0,05 до 0,5 мм:

– №1 – отверстия с 1-го на 3-й слой (толщина 0,34 мм);
– №2 – отверстия с 1-го на 5-й слой (толщина 0,6 мм);
– №3 – отверстия с 1-го на 7-й слой (толщина 0,8 мм).

После изготовления металлизированных отверстий полупакеты припрессовывали к жесткому основанию одним слоем малотекучего препрега. Основные критерии: минимизация вытекания смолы на поверхность платы, полное равномерное заполнение металлизированного отверстия смолой.

Качество заполнения отверстий смолой проверяли по металлографическим шлифам. Результаты визуального контроля шлифов представлены в таблице 1.

Виды дефектов заполнения отверстий смолой в отверстиях на образце №3 представлены в соответствии с рисунком 3 (с 1 до 7 слоя).

В целом по результатам исследований заполнения отверстий смолой препрега при прессовании можно сделать следующие выводы:

– для толщины полупакета до 0,6 мм гарантировано заполнение отверстий в соответствии с ГОСТ Р 55693-2013;

– для полупакетов толщиной от 0,6 до 0,8 мм рекомендуется использовать отверстия для заполнения диаметром не более 0,15 мм.

Исследование влияния типа межслойных переходов на скорость передачи сигнала

Нашим филиалом совместно с ВНИИЭФ было проведено исследование влияния межслойных переходов на скорость передачи сигнала. Основным методом исследо-

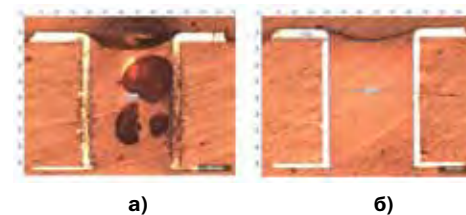


Рис. 3. Заполнение смолой отверстий диаметром 0,5 мм полупакета №3
а) – заполнение с пустотами;
б) – превышение величины мениска

Таблица 1. Результаты заполнения отверстий смолой препрега при прессовании

Номер п/пакета	Диаметр отверстия, мм	ГОСТ Р 55693	Заполнение смолой, %	Пустоты	Величина мениска, мм	Примечание			
№1 Толщина 0,34 мм (с 1 на 3 слой)	0,05	Величина мениска – 0,076 мм Заполнение смолой 100%	100% заполнение	нет	0,004÷0,068	Соответствуют ГОСТ Р 55693-2013			
	0,1								
	0,15								
	0,2								
	0,25								
	0,3								
	0,4								
	0,5								
№2 Толщина 0,6 мм (с 1 на 5 слой)	0,05			100% заполнение	нет		0,001÷0,03	0,026÷0,06	
	0,1								
	0,15								
	0,2								
	0,25								
	0,3								
	0,4								
	0,5								
№3 Толщина 0,8 мм (с 1 на 7 слой)	0,05		100% заполнение				нет	0,001÷0,017	0,05÷0,06
	0,1								
	0,15								
	0,2								
	0,25								
	0,3								
	0,4								
	0,5								
№3 Толщина 0,8 мм (с 1 на 7 слой)	0,05			20% отверстий – с пустотами			0,042÷0,061	Не соответствуют ГОСТ Р 55693-2013	
	0,1	10% отверстий – с пустотами			>>0,076				
	0,15	80% отверстий – с пустотами			0,095 в 1 отверсти				
	0,2								

вания высокоскоростных линий передачи, отличающихся друг от друга только типами межслойных переходных отверстий, выбран метод глазковых диаграмм. Он позволяет провести качественное сравнение различных видов отверстий с точки зрения влияния на целостность сигнала.

Для проведения исследований была спроектирована тестовая МПП из материала MCL-FX-2 фирмы Hitachi Chemical, которая должна обеспечивать скорость передачи высокоскоростных сигналов до 10 Гбит/с. В качестве линий передачи сигналов в плате использованы дифференциальные пары с заданным волновым сопротивлением 100 Ом.

Топология платы включала два фрагмента с разными видами межслойных переходов: сквозными и псевдоглухими. Для каждой линии передачи были сняты глазковые диаграммы в диапазоне скоростей от 5 Гбит/с до 13 Гбит/с с шагом 1 Гбит/с и приведены на рисунке 4.

На скорости 5 Гбит/с переходные отверстия обоих видов ведут себя одинаково. Однако с ростом скорости параметры линии со сквозными отверстиями деградируют быстрее, чем у линий с псевдоглухими отверстиями. Линия связи со сквозными переходами на скоростях 10 и 13 Гбит/с имеет практически полностью закрытую глазковую диаграмму. Глазковые диаграммы для линий связи с псевдоглухими отверстиями, полученными по технологии поэтапного прессования, имеют практически идентичное раскрытие на всех скоростях: 5, 10 и 13 Гбит/с.

Результатом исследований является разработка технологии поэтапного прессования,

позволяющая гарантированно изготавливать МПП с многоуровневыми межсоединениями для сверхбыстродействующих цифровых

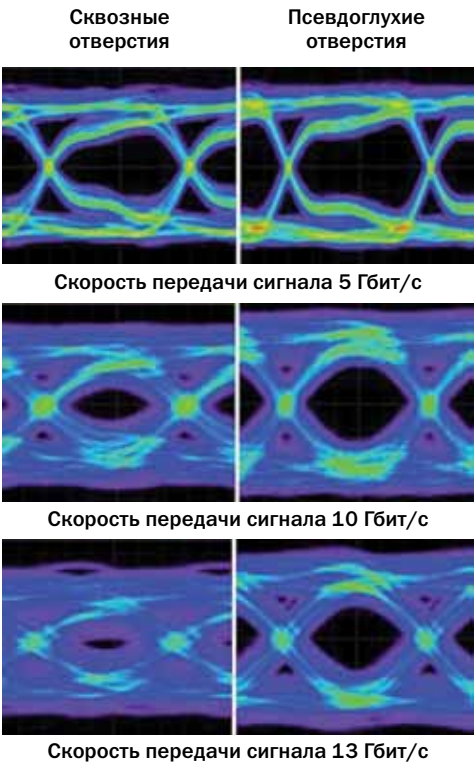


Рис. 4. Глазковые диаграммы тестовой платы

устройств со скоростями передачи данных до 10 Гбит/с при соблюдении следующих условий:

- применение конструкционных материалов с низкими значениями и регламентированным допуском диэлектрической проницаемости и очень низкими потерями в диэлектрике (0,005 и менее);
- постоянное соблюдение технологических параметров на протяжении всего процесса изготовления для обеспечения воспроизведения проводящего рисунка с точностью ±10%;
- использование в конструкциях МПП полупакетов толщиной не более 0,6 мм.

Литература:

1. Сборник тезисов XIII научно-технической конференции молодых специалистов Росатома «Высокие технологии атомной отрасли. Молодежь в инновационном процессе» – Н. Новгород: «Кириллица», 2018, – 72 с.
2. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л. Н. Кечиев – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007, – 616 с.
3. Информационные системы и технологии – 2019. Сборник материалов XXV Международной научно-технической конференции – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2019, – 1097 с.
4. ГОСТ Р 55693-2013 «Печатные платы жесткие. Технические требования».

О проблемах выбора критериев стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры к механическим воздействиям

А. А. КУФТИН, А. В. ИВАНОВ,
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
г. Саров

Бортовая радиоэлектронная аппаратура (БРЭА) при эксплуатации подвергается интенсивным механическим нагрузкам, что может привести к её отказу. Особенностью таких приборов, отличающей их от других устройств, является наличие электрорадиоизделий (ЭРИ), выполняющих преобразование входных электрических сигналов в выходные согласно заданному алгоритму. При этом ЭРИ – это наиболее уязвимые элементы конструкции любого электронного прибора, поскольку при механических воздействиях возможен так называемый параметрический отказ прибора, когда его выходные характеристики оказываются вне допустимых пределов [1]. Это происходит по причине дрейфа параметров ЭРИ при приложении к ним кинематического или силового воздействия. При этом конструкция прибора может сохранить свою прочность.

При разработке бортовой радиоэлектронной аппаратуры на этапах эскизного и технического проектов в обязательном порядке выполняется оценка прочности и устойчивости прибора при механических воздействиях, наиболее распространенными среди которых являются удары, виброудары, синусоидальная и случайная вибрация, линейное ускорение, звуковое давление [2]. Данная оценка проводится с использованием методов численного имитационного моделирования (ЧИМ) в современных системах конечно-элементного анализа, а также по результатам оценки правильности применения ЭРИ. Численное моделирование дает инструментарий для детального изучения поведения конструкции в условиях механических воздействий, что недостижимо при экспериментальных исследованиях. Данный подход позволяет на ранних проектных стадиях частично или полностью отказаться от проведения испытаний действующего макета прибора. И если инструментарий систем автоматизированного проектирования достаточно хорошо изучен и отработан на большом количестве решенных ранее задач, то проблема оценки результатов расчета на настоящий момент полностью не решена.

По результатам проведения численных расчетов БРЭА на механические воздействия конструктор сталкивается с проблемой интер-

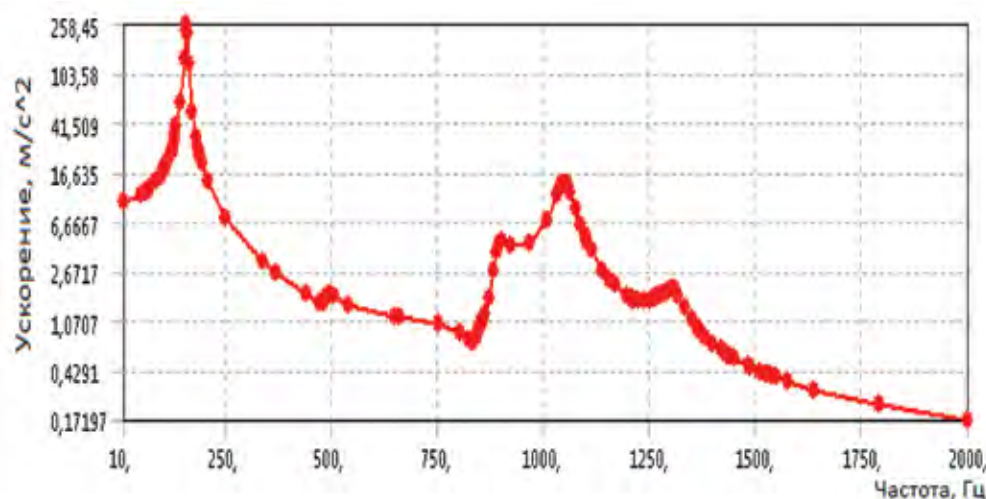


Рис.1. Типовая расчетная амплитудно-частотная характеристика печатной платы

претации результатов моделирования в части обеспечения устойчивости.

В общем случае оценка прочности и устойчивости прибора с использованием ЧИМ проводится в следующей последовательности:

а) разработанная трехмерная твердотельная модель прибора упрощается (эти упрощения не должны изменять форму напряженно-деформированного состояния прибора, при этом необходимо стремиться к минимизации таких упрощений) и передается с использованием нейтрального формата файлов в программное обеспечение (ПО) конечно-элементного анализа;

б) в специализированном ПО строится конечно-элементная сетка конструкции, определяются физико-механические константы материалов, описываются контактные области, задаются начальные и граничные условия;

в) проводится расчет, результатами которого являются следующие величины:

– ускорение и перемещение элементов конструкции как функция частоты (при вибрационном нагружении) или времени (при ударном и виброударном нагружении);

– напряжение и деформации в элементах конструкции;

г) выполняется анализ полученных данных. И вот на этом этапе и возникают трудности.

Как понять, является электронный прибор прочным и устойчивым к воздействию или нет? Какими должны быть критерии оценки прочности и устойчивости?

Если в случае ударного нагружения и линейного ускорения критерии, в принципе,

понятны (это контроль по пределу текучести конструкционных материалов и уровню перегрузки АЭРИ для ЭРИ с некими коэффициентами запаса), то при вибрационном воздействии (синусоидальная, ШС вибрации, звуковое давление, виброудар) критерии, по сути, должны быть те же, однако возникает проблема с критериями устойчивости ЭРИ.

В нормативной документации на ЭРИ есть два параметра, определяющих их прочность и устойчивость при вибрационных воздействиях:

– допустимое значение растягивающего (изгибающего) усилия на выводах (это относится к прочности при любом виде воздействия);

– допустимое значение виброускорения в полосе частот (это прочность и устойчивость). Типовое значение составляет от 15 до 40 g синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 10 до 2000 Гц.

Если с подтверждением первого параметра, как правило, не возникает сложностей, то удовлетворить второму сложнее. Это связано с тем, что электронные приборы, построенные на печатных платах, имеют относительно невысокую жесткость и, как следствие, несколько резонансов в диапазоне частот внешних воздействий, что приводит к значительному росту уровней виброускорений на ЭРИ (вывести первую резонансную частоту прибора за верхний предел внешнего воздействия конструктивно трудно реализуемо). Разрабатываемые электронные приборы должны выдерживать уровни перегрузок до 30 g (данные воздействия заданы в технических заданиях на основании исходных данных головных раз-

работчиков), что практически гарантированно при резонансе обеспечит ускорения до 100 g и более на ЭРИ даже при достаточно высоком конструкционном демпфировании (рис. 1). Формально, в таком случае ЭРИ являются не устойчивыми к воздействию, соответственно, и прибор тоже. Выходом из этой ситуации является полное заполнение внутренних полостей прибора демпфирующими пенопластами или компаундами, что, однако, значительно снижает ремонтпригодность. Снижение ремонтпригодности может негативно сказаться на себестоимости конечного продукта ввиду возможного выхода из строя ЭРИ, что повлечет полную замену дорогостоящих электронных модулей.

Сложности в оценке устойчивости возникают еще и тогда, когда воздействием является ШСВ или виброудар, поскольку в технических условиях на ЭРИ отсутствует информация по устойчивости к этим воздействиям. В данном случае приходится прибегать к приближенным методикам оценки эквивалентности воздействий.

Но, как показывает практика реальной отработки приборов, ЭРИ выдерживают воздействия, превышающие допустимые значения по НД (следует оговориться, что не всегда). Вероятно, причиной этого являютсякладываемые разработчиками ЭРИ запасы работоспособности.

Таким образом, для решения задачи оценки прочности и устойчивости БРЭА к механическим воздействиям должны быть решены две задачи: определены коэффициенты запаса для конструктивных материалов и выработаны критерии оценки устойчивости ЭРИ при вибрационных воздействиях.

Для конструктивных материалов критерии прочности и устойчивости можно записать в виде

$$\sigma \leq \frac{1}{K} \cdot [\sigma_T] \quad (1)$$

где σ – максимальное расчетное значение напряжения в элементе конструкции (в том числе в выводе ЭРИ), Па;

K – коэффициент запаса, ед. Является интегральной характеристикой и определяется как:

$$K = K_M \cdot K_B \cdot K_O \quad (2)$$

где K_M – коэффициент запаса в зависимости от погрешности задания материальных констант. Может принимать значение от 1,0 до 1,4. Минимальное значение коэффициента принимается в случае наличия достоверных сведений о физико-механических свойствах материала (известен конкретный сорт, вид термообработки, материал имеет небольшой разброс свойств или его характеристики определены экспериментально по стандартным методикам). Максимальное значение коэффициент принимает для материалов с широким разбросом значений параметров (например, полимерные материалы, свойства которых значительно зависят от технологического процесса их получения);

K_B – коэффициент, учитывающий несовершенства численных алгоритмов расчета (накопление ошибки счета для задач большой размерности) и несоответствие расчетной геометрической модели реальной. Минимальное значение предлагается принимать 1,2. Для

определения максимального значения необходимо проведение дополнительных расчетно-экспериментальных исследований по определению влияния размерности задачи, используемого ПО на накопление ошибки счета;

K_O – коэффициент ответственности, зависящий от критичности выполняемой функции прибором. Для приборов, имеющих двукратное и более резервирование, составляет 1,0. Для приборов, выполняющих критически важные функции (определяется экспертной оценкой), может достигать 2,0.

С целью обоснованного назначения коэффициентов запаса для каждого конкретного расчетного случая предлагается разработать методику определения указанных выше коэффициентов. Работу планируется провести после уточнения верхней границы коэффициента.

Для ЭРИ (кроме выводов ЭРИ) критерии прочности и устойчивости можно записать в виде

$$A_{ЭРИ} \leq \frac{1}{K} \cdot [A_{доп}] \quad (3)$$

где $A_{ЭРИ}$ – максимальное расчетное значение ускорения каждого ЭРИ, ед. г;

K – коэффициент запаса, ед. Определяется из выражения (2).

Максимальное расчетное значение ускорения определяется с использованием методик ЧИМ при условии определенного значения модального демпфирования. Модальное демпфирование определяется экспериментально на упрощенном макете прибора, в котором ЭРИ заменены их массогабаритными имитаторами. Модальное демпфирование η определяется для каждого функционального модуля, построенного на базе печатной платы, путем анализа амплитудно-частотной характеристики на первой резонансной частоте по формуле

$$\eta = \frac{\Delta f_{0,707}}{f_{рез}} \quad (4)$$

где $\Delta f_{0,707}$ – ширина резонансного пика на уровне 0,707 от максимальной амплитуды виброускорения, Гц (рис. 2);

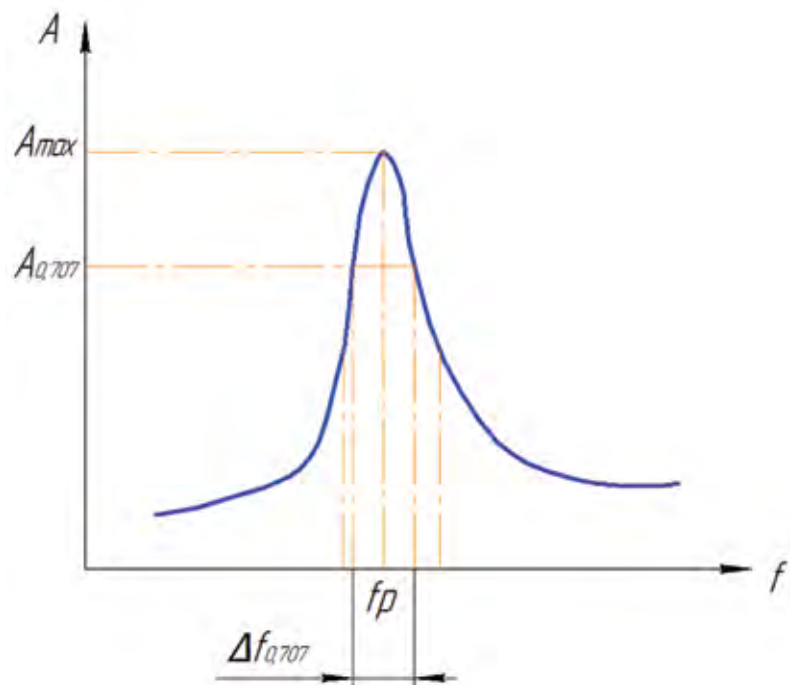


Рис. 2. Методика определения модального демпфирования

$f_{рез}$ – значение первой резонансной частоты конструкции, Гц.

В рамках проведенной работы проанализированы проблемы, возникающие при анализе прочности и устойчивости БРЭА в части наличия ЭРИ и печатных плат; предложены критерии прочности и устойчивости отдельно для ЭРИ и конструктивных материалов; выработан подход к назначению численных значений коэффициентов запаса прочности.

Направлениями дальнейших исследований являются:

а) проведение расчетно-экспериментальных исследований по определению влияния размерности задачи, используемого ПО на накопление ошибки счета;

б) разработка экспертной методики назначения коэффициентов запаса в зависимости от интенсивности внешних механических воздействий, размерности конечно-элементной сетки модели, критичности выполняемой функции прибора в объекте применения, погрешностей задания физико-механических констант конструктивных материалов;

в) проработка вопросов, связанных с оценкой прочности и устойчивости ЭРИ к воздействию виброударов и случайной вибрации. Основным направлением работ в решении данной задачи является выработка предложений по корректировке нормативной документации на разработку ЭРИ в части включения в цикл отработки испытания на воздействие широкополосной случайной вибрации. В части виброударов предлагается использовать формулы (1) – (3), но в качестве использовать значения из технических условий на ЭРИ для требований по одиночным ударам.

Литература:

1. Защита малогабаритной бортовой аппаратуры от механических воздействий: Сборник статей. Автор-составитель: А. В. Иванов. – Саратов: ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ», 2018. – 74 с.: ил.
2. Новые технологии. Том 1. – Материалы XIV Всероссийской конференции, посвященной 70-летию Государственного ракетного центра им. академика В. П. Макеева. – М.: РАН, 2017. – 209 с., с.131-141.

Цифровизация процесса запуска работы в производство

**М. И. БЫСТРОВ, С. И. РЫСЕВА,
Т. В. ШАПОШНИКОВА,
АО «ОКБМ Африкантов»,
г. Нижний Новгород**

АО «ОКБМ Африкантов» – крупный научно-производственный центр атомного машиностроения. Предприятие имеет развитую инфраструктуру с полным производственно-технологическим циклом. Это проектоориентированная организация, применяющая проектное управление в качестве одного из основных подходов к управлению собственной деятельностью. В качестве стандарта управления проектами в организации выбран национальный стандарт НТК, разработанный СОВНЕТ на основании международного стандарта ISO 19650.

Предприятие располагает многопрофильным конструкторским коллективом, собственной исследовательской, экспериментальной и производственной базой. Этапу производства предшествует

проектирование и разработка рабочей конструкторской документации. С целью максимального использования ресурсов сложные изделия запускаются в производство частями, по мере готовности рабочей конструкторской документации. Для этого используются письма-заказы – документы, являющиеся основанием для запуска работы в производство в организации или по кооперации с целью обеспечения выполнения работ производственными подразделениями организации с установлением сроков ее выполнения. Проблемой является длительность процесса оформления письма-заказа, его неконтролируемость (отсутствие промежуточных контрольных точек), что, в конечном счете, приводит к задержкам в начале производства и дополнительным рискам выполнения заказов в срок.

Без компонента информационной системы трудно представить современное управление проектами и проектоориентированной организацией. Это связано с требованием

эффективности процессов, достигаемой технологическим обеспечением корпоративной системы управления предприятием.

С целью сокращения времени протекания процесса, а также повышения его прозрачности и информативности было принято решение о переводе процесса оформления письма-заказа (далее – ПЗ) в производство в электронный вид с использованием системы электронного документооборота и электронной цифровой подписи (далее – ЭЦП). Также была поставлена задача цифровой трансформации бизнес-процесса. Для реализации выбрана используемая в АО «ОКБМ Африкантов» система управления предприятием «1С:УПО» (далее – 1С).

До оптимизации процесс оформления ПЗ выглядел следующим образом: конструктор заполняет шаблон бланка ПЗ в Microsoft Word. Бумажный документ подписывают начальник бюро, начальник отдела, главный конструктор, ведущий инженер проекта и другие дополнительно согласующие в зависимости от содержания ПЗ. Куратор договора присваивает ПЗ номер и создает



в системе 1С шаблон документа «Заказ на производство», который выгружается в систему IPS (Intermech Professional Solutions – универсальная автоматизированная система управления конструкторско-технологической подготовкой производства).

Далее в системе IPS конструктор проверяет наличие ПЗ, запускает процесс создания маршрутно-нормативной ведомости (далее – МНВ). Начальник производственно-диспетчерского отдела (далее – ПДО) назначает исполнителей работ (основных) по проекту ПЗ. Начальник маршрутно-нормативного бюро технологического отдела проверяет на полноту информации проект МНВ, проставляет срок и трудоемкость разработки МНВ.

Начальник бюро нормирования технологических процессов ПДО разрабатывает ведомость учета плановой трудоемкости изделия (далее – ВУПТ). Начальник отдела заполняет в бланке ПЗ сроки материально-технического обеспечения (материалы, поковки, покупные). При окончательном оформлении ПЗ сотрудник ПДО заполняет дату регистрации ПЗ, заносит данные с бланка в систему «1С:УПО», далее начальник ПДО отправляет копии бланка ПЗ в рассылку по списку подразделений. Куратор на основании бумажного бланка ПЗ вносит данные в ранее созданный документ «Заказ на производство».

Разработка и внедрение нового функционала проходили в три этапа.

На первом этапе было разработано техническое решение, доработаны электронные документы, созданы необходимые обработки и печатные формы, автоматизировано согласование бланка ПЗ, настроены очереди электронного согласования документов. Бизнес-процесс согласования был изменен – оформление ПЗ разделено на два этапа:

- оформление Заявки на производство (этап инициируется конструктором и заканчивается оформлением электронного документа, содержащего перечень изготавливаемого оборудования, основные его характеристики и предъявляемые требования). Заполнение электронного документа выполняется непосредственными участниками процесса его согласования. Таким образом, куратор договора только присваивает номер в системе, а не вносит все данные с бумажного бланка.
- запуск ПЗ в производство (этап контролируется ПДО и заканчивается оформлением электронного документа, содержащего перечень работ производства со сроками и подразделениями-исполнителями). На данном этапе разрабатывается ВУПТ, МНВ и сводная ведомость основных и вспомогательных материалов. Работы ПЗ вносятся сотрудником ПДО не вручную на основании бумажного бланка ВУПТ, а на основании электронного документа «Исходные данные».

На втором этапе были проведены обучение участников процесса и опытно-промышленная эксплуатация разработанного функционала с параллельным использованием бумажного и электронного документов.

На третьем этапе для регламентирования процесса запуска работ в производство был выпущен нормативный документ, описывающий последовательность действий, сро-

ки обработки документа, ответственность участников процесса. Далее функционал был запущен в промышленную эксплуатацию.

Текущий процесс выглядит следующим образом: с помощью специальной обработки в системе 1С конструктор создает частично заполненные документы «Заказ на производство» и «Проектная задача» и отправляет их на согласование.

Формирование очереди электронного согласования происходит автоматически.

С целью ускорения процесса согласования всем заинтересованным пользователям была установлена программа оповещения, которая опрашивает 1С с определенными интервалами времени на наличие документов, требующих согласования/утверждения.

Все участники процесса согласования подписали «Соглашение об использовании простой электронной подписи при электронном взаимодействии в системе «1С:УПО», что позволило приравнять электронное согласование документа пользователем к собственноручному подписанию.

Электронное согласование позволяет:

- формировать списки последовательного, параллельного и комбинированного согласования;

- добавлять замещающих сотрудников на определенный срок на каждый вид документа или на все документы в целом;
- выполнять проверку на корректность заполненных данных;

- при согласовании оставлять замечания или добавлять дополнительного согласующего;
- при отклонении документа накапливать замечания или сразу отзываться документ с согласования до их устранения;

- повышать приоритет согласования для выделения наиболее важных документов;
- отображать актуальные данные сотрудника (подразделение, телефон) для сокращения времени поиска согласующего.

В процессе согласования происходит поэтапное заполнение соответствующих документов. При необходимости участники процесса могут прикрепить электронные образы документов к документу в системе 1С.

Документ «Проектная задача» автоматически выгружается в автоматизированную систему внутрицехового планирования (далее – АСВП). Проект ПЗ выгружается из АСВП в IPS, где создается объект, автоматически связанный с ПЗ в АСВП. Начальник ПДО вносит в ПЗ работы по подготовке производства со сроками выполнения и подразделениями-исполнителями («Разработка исходных данных», «Разработка МНВ», «Обработка сводной ведомости материалов» и др.). Работы попадают в планы подразделений и контролируются оформлением Отчета о выполнении работы (ФЗ НИОКР). После того, как куратор договора проверяет и подписывает документ «Заказ на производство», на заказ могут списываться затраты.

После получения начальником бюро нормирования ПДО оповещения о разработке новой МНВ по заказу в системе АСВП и назначения ответственного за разработку исходных данных по заказу, в системе 1С автоматически создается новый документ «Исходные данные по подразделению» и от-

правляется на согласование. В процессе согласования ответственные сотрудники вносят в документ работы с трудоемкостью и сроками выполнения. На основании документа и сроков из укрупненного сетевого план-графика по обеспечению материалами, поковками, покупными начальник ПДО с помощью специальной обработки создает в системе 1С работы ПЗ.

После этого он в документе «Заказ на производство» формирует следующие файлы в формате pdf: печатная форма бланка ПЗ, лист его согласования и печатные формы электронных приложений. Отправляет непосредственно из 1С сформированные файлы в подразделения по списку рассылки через систему электронного документооборота.

После согласования сводной ведомости в 1С и передачи в систему АСВП статуса «Обработано ОМТО (отделом материально-технического обеспечения)» (при наличии покупных материально-технических ресурсов и оборудования, незарезервированных кладовыми-получателями) в системе 1С автоматически в документе «Проектная задача» заполняются даты обеспечения материалами, поковками и покупными максимальными сроками из согласованной сводной ведомости, для работы «Обработка ОМТО сводной ведомости» автоматически создается ФЗ НИОКР, а также создается файл формата pdf с печатной формой сводной ведомости, который автоматически прикрепляется к письму-заказу в системе АСВП.

Если происходит изменение конструкторской документации или возникает новая потребность, неучтенная в первоначальном заказе, запускается новое ПЗ.

Переход от традиционного согласования документов на бумаге к электронному согласованию с использованием системы электронного документооборота и простой ЭЦП позволяет значительно сократить время движения документов, ускорить и облегчить процесс визирования одного документа несколькими лицами, а также полностью переводит его в цифровую форму. Цифровизация процесса запуска работ в производство позволила оптимизировать сроки его проведения в два раза.

Полученный опыт позволяет применять электронное согласование и для других документов: «Квартальный отчет», «Корректировка плана работ», «Исходные данные» и «Утверждение СПГ».

Литература:

1. Управление проектами: Основы профессиональных знаний, национальные требования к компетентности специалистов (NCB-SOVNET National Competence Baseline Version 3.1). М.: ЗАО «Проектная ПРАКТИКА», 2014 – 259 с.;

Разработка сквозных технологических процессов в корпоративной информационной системе

**А. И. ЖИЛЯЕВА, И. С. УШАКОВ,
А. А. ЩЕНЯТСКАЯ,
АО «Ижевский электромеханический
завод «Купол»,
г. Ижевск**

Внедрение систем автоматизированной разработки технологической документации, электронного документооборота и элементов цифровой системы управления производством является одним из ключевых критериев повышения уровня производственно-технологической зрелости производственного предприятия, реализации концепции «Индустрии 4.0» и программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утверждённой распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 г. № 1632-р.

Основной задачей предприятий ВПК (в современных рыночных условиях) является оперативное (в кратчайшие сроки) освоение

новых изделий спецтехники и гражданской продукции, что определяет качественная подготовка производства. Успешным решением данной задачи является автоматизация работ. Залогом данной работы является поддержка технологических данных в актуальном состоянии. Это включает в себя взаимосвязь данных о технологических маршрутах, материальном и трудовом нормировании, оборудовании, оснастке, ТП. Особую актуальность данный вопрос приобретает в связи с внедрением позаказного учета в рамках приказа №116/18 от 31.01.2018 федеральной антимонопольной службы и постановления правительства от 02.12.2017 №1465.

Правильное, структурированное и оптимальное ведение задач производственного учета приводит к точному и оперативному сбору затрат на фактическое изготовление изделий.

Для внедрения и правильного ведения таких задач производственного учёта как «Ведение технологических паспортов», «Трудовые нормативы» и «Сменные отчёты» необходимо

решить задачу ведения сквозных техпроцессов (ТП). Сквозные ТП – это структурированная последовательность всех техпроцессов, необходимых для изготовления конкретной детали и сборочной единицы (ДСЕ), представленная в виде единого ТП со ссылками на типовые ТП (ТТП) и индивидуальные ТП.

В ходе опытной эксплуатации ведения сквозных технологий изготовления ДСЕ специалистами АО «Ижевский электромеханический завод «Купол», было выявлено:

- наличие некорректных маршрутных техпроцессов (МТП);
- невозможность использования ссылок на индивидуальные ТП;
- избыточность операций в техпаспорте при его формировании с ТП, имеющего многократные ссылки на один и тот же ТП/ТТП;
- проблема формирования техпаспорта с ТП, имеющего ссылку на ТТП, используемого в разных цехах;
- необходимость производить расчёты затрат на изготовление изделия.

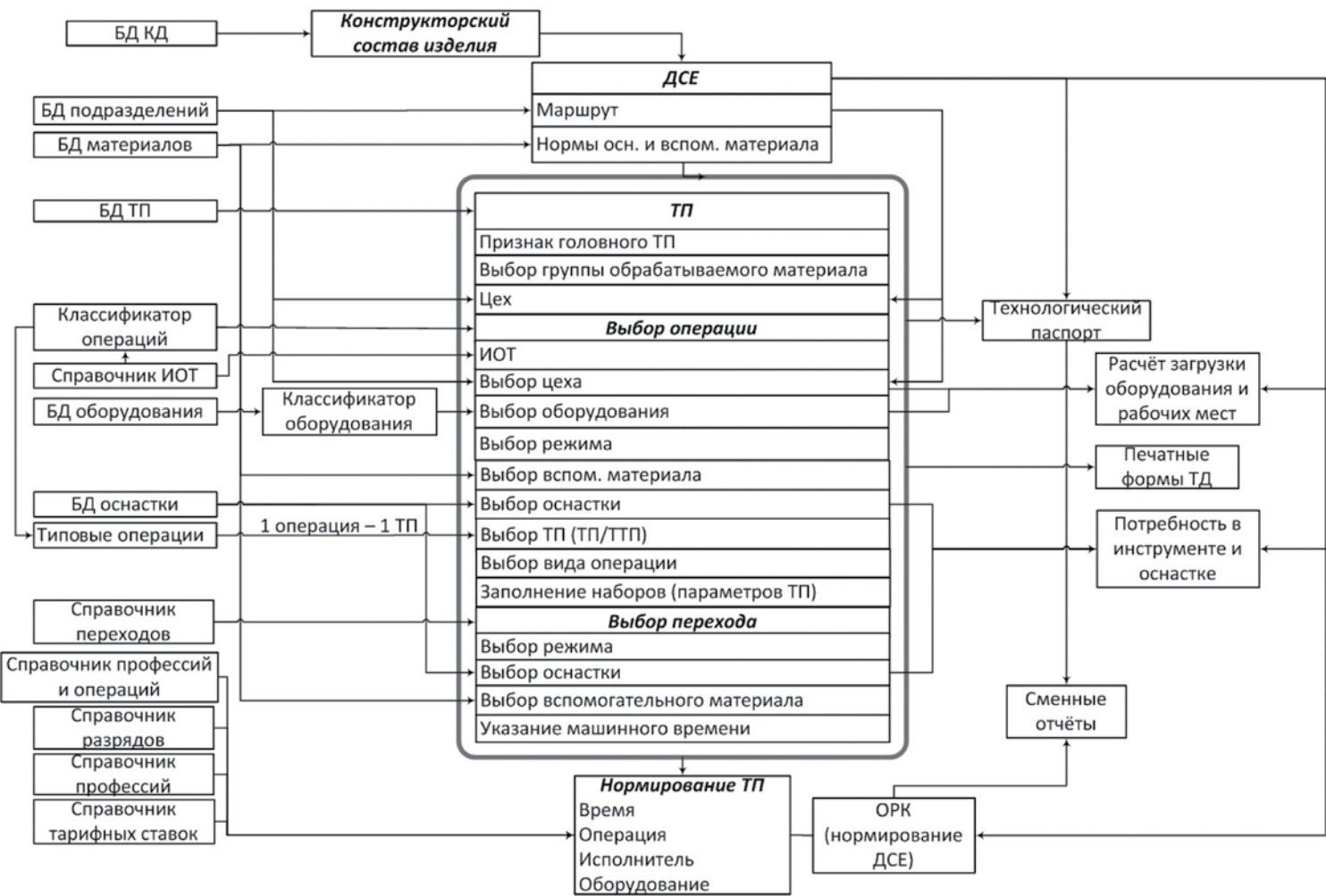


Рис. 1. Информационная модель электронной версии подлинника ТП

Поэтому целью работы стало повышение качества формируемых технологических паспортов в КИС за счёт актуализации базы техпроцессов (ТП), настройки сквозных ТП и согласования МТП.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработка потока работ по согласованию МТП;
- организация ведения ТП со ссылками на индивидуальные ТП;
- разработка функционала определения порядка операций ТП/ТПП, на которые операции основного ТП ссылаются многократно;
- разработка порядка работ по ведению ТПП, используемых в разных цехах.

Решение этих задач было бы невозможным без качественной проработки и построения взаимосвязей технологических данных в информационной модели электронного ТП (рис. 1).

Для повышения качества разрабатываемых маршрутных технологий был внедрён поток их согласования с технологическими бюро и бюро материального нормирования (БМН) управления главного технологами (УГТ) и управлением организации и нормирования труда (рис. 2).

При запуске потока система анализирует содержимое ТП на наличие ссылок на ТП/ТПП и направляет работу по согласованию в бюро, которое является владельцем ТПП.

Если найдено несколько ТПП с разными владельцами, то работы по согласованию МТП уходят в каждое из них параллельно.

Существует возможность возврата ТП технологу-разработчику для устранения замечаний.

В случае, если ссылка на ТП/ТПП не была указана до запуска потока и согласующие бюро требуют согласования с бюро, работы на которое не были сгенерированы при создании потока, существует возможность дополнительного согласования с конкретным бюро.

Большой проблемой, которую предстояло решить, было создание функционала для вставки операций-ссылок на индивидуальные ТП. Эта проблема остро стояла для цехов механической обработки.

Для формирования сквозных техпаспортов, включающих в себя разные ТП (например, на мехобработку и сварку), был разработан порядок ведения техпроцессов, имеющих ссылки на индивидуальные ТП. Для его внедрения потребовалась доработка функционала. Была разработана задача, которая предлагает вставить возможную ссылку на индивидуальный ТП (рис. 3).

Следующей проблемой, с которой столкнулись во время опытной эксплуатации, стало наличие многократных ссылок на один и тот же ТП. Данная проблема приводила к избыточному количеству операций в технологическом паспорте. Как, например, видно из этого ТП на изготовление основания, при каждом заходе в ТП2 должна производиться только часть операций (рис. 4).

Для решения этой проблемы была разработана задача для установления порядка выполнения операций в сквозном ТП.

Задача выглядит следующим образом: с правой стороны указываются те операции, которые должны выполняться при каждом заходе в ссылочный ТП. Данный пример демонстрирует работу с единичным ТП, для группового ТП возможна индивидуальная настройка по каждой ДСЕ данного ТП. Как видно из задачи, в первом заходе выполняются первые четыре операции (рис. 5).

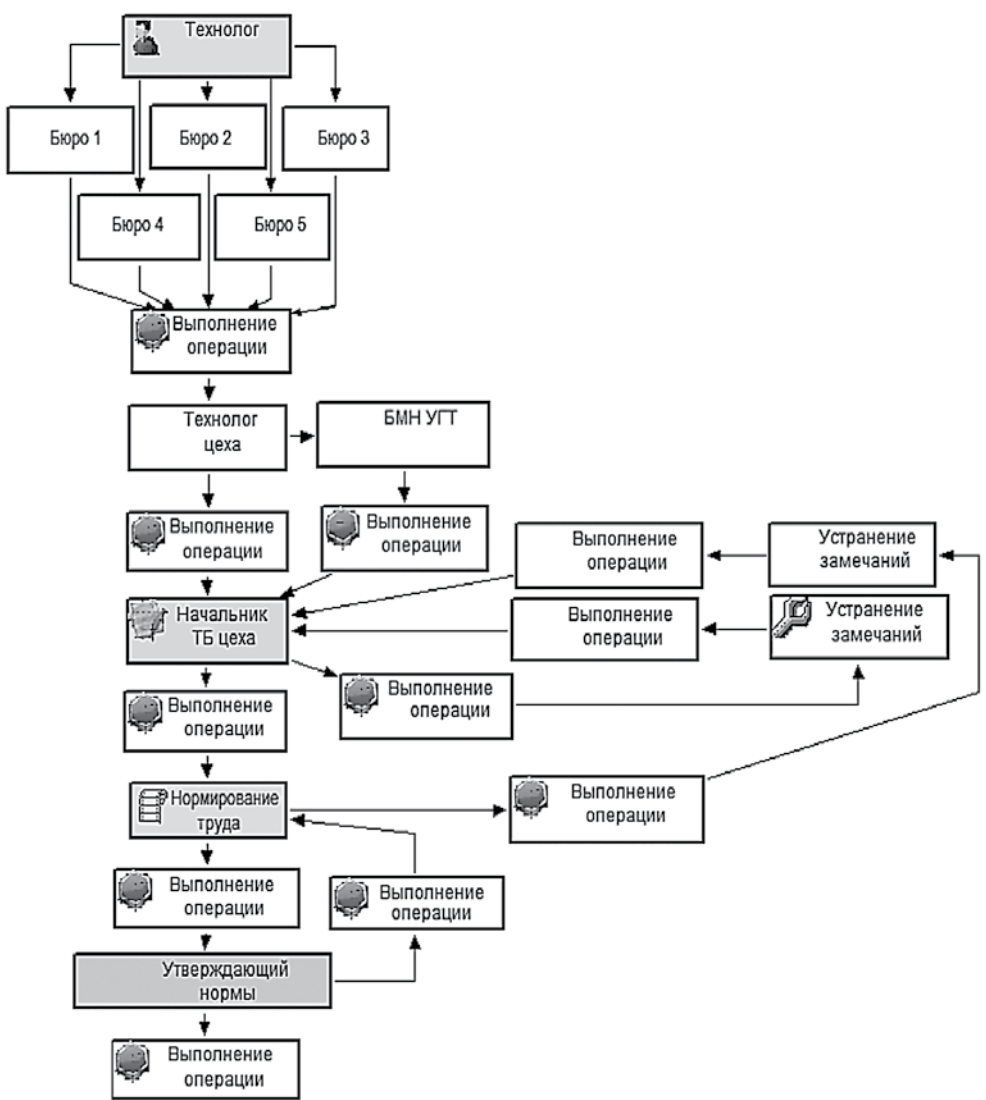


Рис. 2. Поток согласования МТП

Рис. 3. Задача «Добавление операций по ТП»

ТП1	ТП2
[010] 104 Комплектование	[010] 104 Комплектование
[020] 104 ТП2	[020] 104 Зачистка
[030] 104 Зачистка	[030] 104 Сборка
[040] 104 Правка	[040] 104 Разметка
[050] 116 Обработка механическая	[050] 104 Дуг. сварка в углекислом газе
[060] 116 Технический контроль	[055] 104 Слесарная
[070] 104 ТП2	[060] 116 Обработка механическая
[080] 104 Зачистка	[070] 104 Сборка
[090] 104 Правка	[080] 104 Дуг. сварка в углекислом газе
[100] 104 Сверлильная	[090] 104 Зачистка
[110] 104 Резьбонарезная	[100] 104 Сборка
[120] 104 Технический контроль	[110] 104 Дуг. сварка в углекислом газе
[130] 105 Получение покрытия ТП3	[120] 104 Слесарная
[140] 105 Получение покрытия ТП4	[130] 104 Зачистка
[150] 104 Упаковывание	[140] 104 Технический контроль
[160] 104 Транспортирование	

Рис. 4. Пример ТП с многократными ссылками на другой ТП

Порядок операций по ТП					
Номер операции	Цех операции	Наименование ТП	Применяемость	Номер операции	Цех операции
020	104	ТП12	☒	020	104
070	104	ТП12	☒	030	104
130	105	ТП13	☒	040	104
140	105	ТП14	☒	050	104
				070	104
				080	104
				090	104
				100	104
				110	104
				140	104

Рис. 5. Задача «Порядок операций по ТП»

Остальные операции выполняются уже при втором заходе в этот ТП (рис. 6).

Технологический паспорт, сформированный по такому ТП, выглядит следующим образом (рис. 7).

Данный пример иллюстрирует корректную работу задачи порядка операций в сквозном ТП. В данном примере суммарно используется четыре технологических процесса (основной ТП изготовления основания, сварочный ТП и два ТП на фосфатирование и покрытие), ссылка на сварочный ТП используется два раза.

Помимо важной задачи по обеспечению успешного формирования техпаспорта по сквозному ТП также стояла задача по облегчению труда технологов в части отработки уже существующих технологий. Для этого была разработана задача, позволяющая заменить технологическую операцию на операцию, выполняемую по другому ТП (например,

индивидуальному или типовому). Также было выявлено около 66.000 операций, ссылающихся на ТПП, которые удалось заменить программным путём (65% от общего количества операций-ссылок). Это существенно упростило корректировку уже существующих технологий.

Одним из проблем, возникающих при формировании техпаспорта на основе сквозных техпроцессов, стало использование ссылок на ТПП, применяющихся в разных цехах.

Это связано с тем, что в ТПП указан цех на операции, например, цех 1.

Поэтому при включении таких ТПП в основной ТП цеха 1 и формировании с него техпаспорта, цех операции ТПП выводился как цех 2, а не цех 1, как это предполагал технолог-разработчик техпроцесса.

Простым и быстрым способом решения проблемы было бы удаление цеха с операций типовых ТП, используемых в разных цехах.

Порядок операций по ТП					
Номер операции	Цех операции	Наименование ТП	Применяемость	Номер операции	Цех операции
020	104	ТП12	☒	020	104
070	104	ТП12	☒	030	104
130	105	ТП13	☒	040	104
140	105	ТП14	☒	050	104
				070	104
				080	104
				090	104
				100	104
				110	104
				140	104

Рис. 6. Задача «Порядок операций по ТП»

Но мы предложили решить эту проблему более глобально, а именно предложили порядок работы с ТПП, применяемыми в разных цехах (табл. 1).

Таким образом, выполнены следующие работы:

- разработана информационная модель ТП;
- разработан и внедрён порядок ведения сквозных ТП в КИС;
- разработан интерфейс для связи типовой операции с ТПП и алгоритм преобразования типовой операции в операцию со ссылкой на ТПП в рамках КИС;
- создан и сопровождается классификатор типовых технологических операций в рамках КИС, проведен анализ картотеки типовых технологических процессов и классификатора технологических операций согласно ЕКТО;
- утверждена ведомость замен старых ТПП на новые с реализацией функциональной замены ссылок в КИС, произведена автоматическая замена технологических операций на ссылочные операции;

- разработано и внедрено электронное согласование МТП;
- увеличилось количество ТП, разработанных в КИС, и их качество;
- доработаны печатные формы технологических паспортов и сменных отчетов;
- подписаны акты внедрения задач, поданы рационализаторские предложения;
- доработано программное обеспечение в части ведения трудовых нормативов и формирования сменных отчетов в КИС.

Проделанная работа позволила оперативно актуализировать данные технологических процессов в КИС, получить электронный подлинник сквозного ТП, уменьшить трудоёмкость формирования сквозных технологических паспортов, ведения трудовых нормативов и сменных отчетов, решила проблему отсутствия прозрачности в производственном процессе: сквозной ТП наглядно отображает последовательность всех операций, требуемых для изготовления ДСЕ, а сформированный на его основе сквозной техпаспорт позволяет показать текущую стадию производственного цикла ДСЕ (от запуска в производство до полного изготовления) с учётом производственных затрат.

	№	№ по ТП	Операция	№ операции основного ТП	Техпроцесс
1	1	010	Комплектование		ТП1
2	2	020	Зачистка	020	ТП2
3	3	030	Сборка	020	ТП2
4	4	040	Разметка	020	ТП2
5	5	050	Дуг. сварка в углекислом газе	020	ТП2
6	6	030	Зачистка		ТП1
7	7	040	Правка		ТП1
8	8	050	Обработка механическая		ТП1
9	9	060	Технический контроль		ТП1
10	10	070	Сборка	070	ТП2
11	11	080	Дуг. сварка в углекислом газе	070	ТП2
12	12	090	Зачистка	070	ТП2
13	13	100	Сборка	070	ТП2
14	14	110	Дуг. сварка в углекислом газе	070	ТП2
15	15	140	Технический контроль	070	ТП2
16	16	080	Зачистка		ТП1
17	17	090	Правка		ТП1
18	18	100	Сверлильная		ТП1
19	19	110	Резьбонарезная		ТП1
20	20	120	Технический контроль		ТП1
21	21	100	Фосфатирование	130	ТП3
22	22	380	Покрытие	140	ТП4
23	23	150	Упаковывание		ТП1
24	24	160	Транспортирование		ТП1

Рис. 7. Пример формирования техпаспорт после настройки порядка операций по ТП

Таблица 1. Порядок работы с ТПП, применяемыми в разных цехах

Специалист управления корпоративной информатизации	Создание атрибута «Цеха ТПП» и заполнение на основе классификатора типовых операций.
	Создание и заполнение атрибута «Применяется в нескольких цехах» в значение «Да».
	Удаление цехов с операций ТПП. Отправка ТПП в УГТ для проработки в случае, если операции производятся в разных цехах.
Специалист по нормированию труда	Формирование списка неклассифицированных операций и отправка в УГТ и управления по организации и нормированию труда.
	Анализ и отработка списка неклассифицированных операций.
Специалист УГТ	Атрибут ТПП «Применяется в нескольких цехах» устанавливается в значение «Да». Цех на операции ТПП не указывается. Согласование ТПП в рабочем порядке.
	Установка связи типовой операций в классификаторе с ТПП, указание цехов/участков, в которых применяется ТПП.
Система	Заполнение атрибута «Цеха ТПП» ежедневно.
	Включение операции ТПП в содержимое техпаспорта с цехом, который указан в операции-ссылке на ТПП.

Оптимизация документооборота в цехе теплообменного оборудования АО «ОКБМ Африкантов»

**Е. В. ТРЕУШНИКОВА,
АО «ОКБМ Африкантов»,
г. Нижний Новгород**

В данной работе представлен результат оптимизации документооборота с помощью методологии бережливого производства, инструментов производственной системы Росатома и цифровой трансформации информационных потоков на серийном производстве теплообменного оборудования АО «ОКБМ Африкантов».

Основная задача цеха теплообменного оборудования (далее по тексту ТО) – сдача заказа в срок. С 2017 года объем заказов резко увеличился – до 8 ТО в приведенном эквиваленте (в 2010 г. изготавливалось 0,66 ТО, в 2013 г. – 3 ТО, в 2016 г. – 6 ТО), а также происходит расширение номенклатуры и увеличение объемов производства на перспективу 2020 г. Для выполнения задач, поставленных руководством ГК Росатом, необходимо дальнейшее повышение производительности труда.

Проведенный на тот момент с помощью методологии бережливого производства и ПСР производственный анализ показал, что для достижения цели сдачи заказов в срок необходимо оптимизировать документооборот, т. к. формирование документации занимает больше времени, чем изготовление оборудования.

Были выявлены следующие потери:

1. передача документации между исполнителями разных подразделений выполняется только комплектом (один комплект первичной сопроводительной документации изделия модуль состоит из 13 папок по 250 листов);

2. длительное время протекания процесса, обусловленное большим объемом ручного труда при заполнении документов (вручную заполняются описи папок, в которых отражается прослеживание входимости от деталей и сборочных единиц до головной сборки);

3. множественные возвраты документации на предыдущие этапы для устранения ошибок ручного заполнения;

4. большой объем бумаги, половина из которых – заключения по результатам контроля неразрушающими методами (а именно радиографического контроля и капиллярного контроля), оформляемые на отдельных листах формата А4 в соответствии с действующим на тот момент СТО СМК-033-2014.



Рис. 1. Организация общего рабочего пространства по формированию документации до и после применения инструментов системы 5С

Для устранения выявленных потерь необходимо было последовательное решение следующих задач:

1. оптимизация взаимодействия исполнителей разных подразделений (цеха ТО и отдела технического контроля) на этапах формирования и проверки комплектов первичной сопроводительной документации;

2. автоматизация документооборота в части формирования прослеживания входимости и выгрузки описей папок при изготовлении ТО;

3. оптимизация форм заключений по результатам контроля неразрушающими методами.

Для оптимизации работ по формированию комплектов первичной сопроводительной документации было организовано общее рабочее пространство исполнителей разных подразделений в соответствии с методологией бережливого производства и инструментов системы 5С. Это позволило изменить алгоритм процесса, организовать поток единичных изделий, запараллелить этапы формирования и

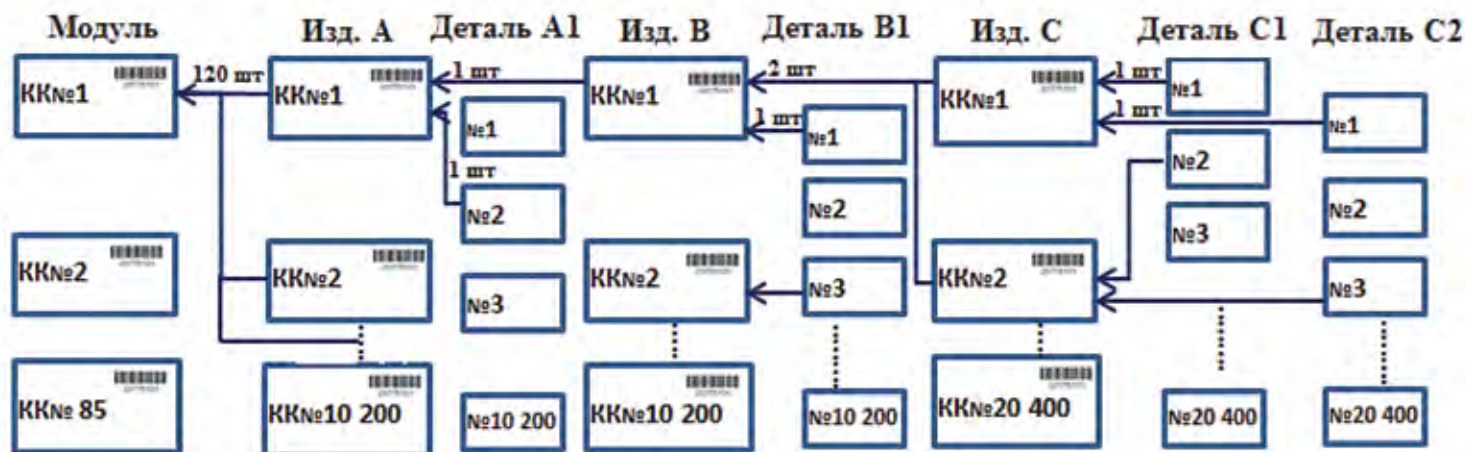


Рис. 2. Структурная схема всего состава изделия и связи по входящим в модуль программы АСВП

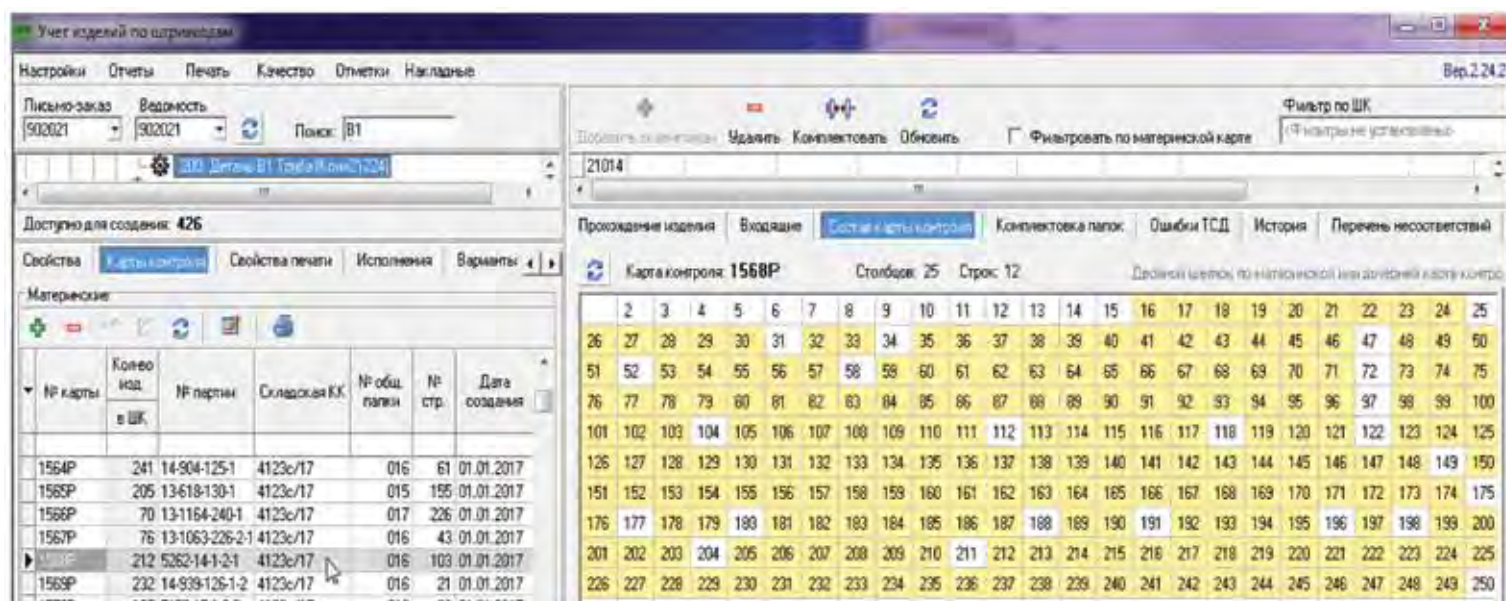


Рис. 3. Заведение КК на детали в системе

проверки документации. Фотографии общего рабочего пространства до и после применения инструментов системы 5С приведены на рис. 1.

Для автоматизации заполнения описей папок в Автоматизированной системе внутрицехового планирования (АСВП), разработанной АО «ОКБМ Африкантов», был реализован программный модуль, который состоит из электронной базы данных прослеживания входимости (рис. 2), эффективных алгоритмов ее наполнения, отчетных форм. Инструментом ввода-вывода информации выбрано штрихкодирование как наиболее быстрое, надежное и экономически эффективное.

Разработанный программный модуль основывается на следующих принципах:

1. в систему вносится минимальный объем данных, последующие данные генерируются из внесенных;
2. данные, однажды введенные в систему или сгенерированные ею, многократно используются для решения большого числа задач;
3. алгоритмы внесения данных в систему и генерации новых обеспечили меньшие трудовые и временные затраты, чем выполнение данных действий аналоговыми средствами;
4. «защита от ошибок» – ошибки исполнителя сведены к минимуму или исключены за счет максимального упрощения работы в системе и ввода системных ограничений.

Наполнение электронной базы данных прослеживания входимости заключается в заведение всех карт контроля через программу (создание электронных обликов КК и впеча-



Рис. 4. Комплектовка сборок через программный модуль АСВП

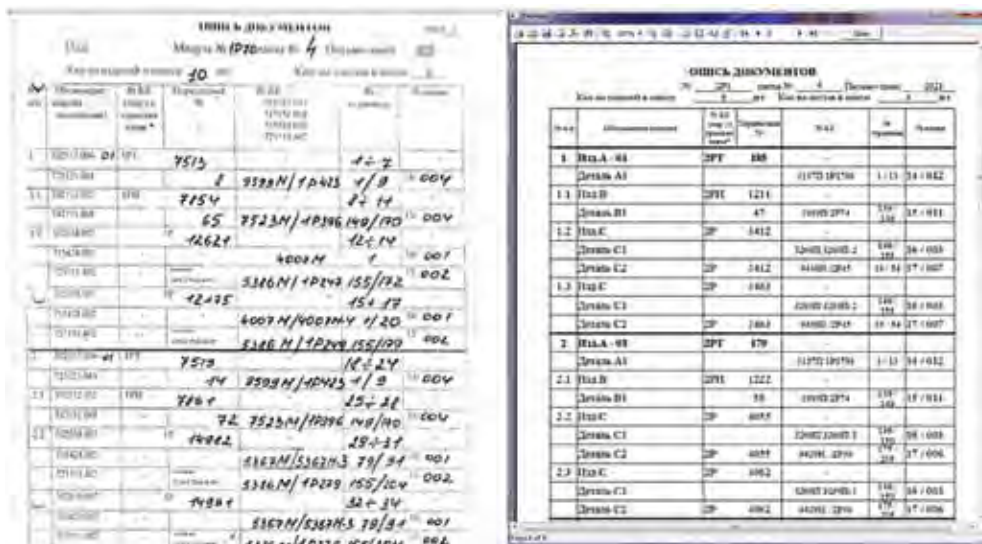


Рис. 5. Опись папки, заполненной вручную, и опись, сформированная автоматически

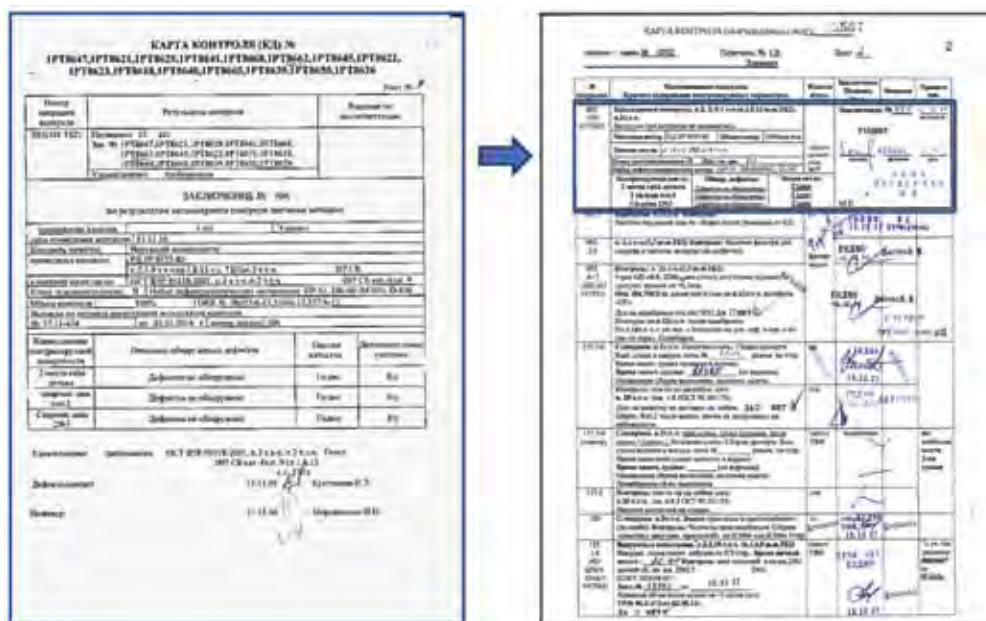


Рис. 6. Заключение до корректировки (слева) на листе формата А4 и заключение после корректировки стандарта (справа) в карте контроля

тывание в бумажные КК штрих-кодов). При начале работы по письму-заказу заводятся КК на партии деталей с указанием всей необходимой информации. Данные, вводимые в одну общую строку, справедливы для всего числа деталей КК (рис. 3).

Далее детали комплектуются в сборки, как в физическом, так и в информационном потоках. Комплектовка сборок выполняется через программу и сведена к вводу в окне программы «Комплектовка» ID-номеров КК входящих в состав этой сборки деталей и сборочных единиц (рис. 5), программа сама создает КК комплектуемой сборки, сохраняет созданные связи в базе данных и выводит на печать результат комплектовки. Таким образом, с каждой последующей комплектровкой информация о входимости нарастает с минимальными трудозатратами.

Внедрение рассмотренного программного модуля позволило автоматически формировать описи папок, что сократило время их заполнения с 40 мин/папку ручного заполнения до 1 мин/папку вывода на печать описи, автоматически сформированной системой. На рис. 5 приведены фотографии описей, заполняемых вручную, и описей, сформированных автоматически.

С целью сокращения бумажных объемов первичной документации были разработаны формы заключений по результатам контроля изделий неразрушающими методами непосредственно в картах контроля на основании требований ОСТВ5Р.95118-2001, ОСТ5Р.9634-2015, ОСТ5Р.9095-93, РД5Р.9537-80. Откорректирован стандарт предприятия СТО СМК-033. На рис. 6 приведена форма заключения до и после корректировки стандарта.

Это позволило сократить объем документации в два раза, и соответственно сокращены затраты бумаги и печатных материалов на выдачу заключений, а также вдвое сокращены работы по формированию комплектов документации. На рис. 7 представлены фотографии комплекта документов на один модуль изделия РИТМ-200 до и после разработки новых форм заключений и корректировки стандарта.

Оптимизация документооборота в цехе теплообменного оборудования по методологии бережливого производства и ПСР, а также при цифровой трансформации информационных потоков позволила:

- сократить время формирования комплектов первичной сопроводительной документации в 3,3 раза (с 10 дней на комплект до 3 дней);

- увеличить производительность на 30% без увеличения численности персонала (перейти на суточный темп с одного модуля в день на 1,3 модуля в день);

- сократить в два раза ТМЦ, затрачиваемые на оформление документации.

Это привело к общему экономическому эффекту ~ 17 млн руб. при затратах на реализацию 1,4 млн руб. (затраты на разработку программного обеспечения, обучающих материалов, проведение отладочных работ, оснащение рабочих мест сканерами-штрих-кода, разработку новых отчетных форм заключений и актуализацию стандартов).

С 2018 года на предприятии активно продолжается цифровизация работ с несоответствиями изготавливаемой продукции и

автоматизация формирования заключений по результатам контроля неразрушающими методами, что также позволяет сократить время работы с документацией, уменьшить трудоемкость и обеспечить оперативный доступ к необходимым данным.

Перспектива развития выполненных программных разработок будет двигаться по двум направлениям:

1. переход на электронный документооборот, исключение аналоговых носителей информации;

2. автоматизация планирования (в системе создан экземплярный учет всех деталей и сборочных единиц изделия, спецификация изделий, операции технологического процесса, данные о фактическом выполнении операций ТП, данные о несоответствиях и результатах контроля, при разработке алгоритмов расчета плановых дат выполнения операций ТП и алгоритмов их пересчета в зависимости от фактического прохождения можно разработать «Умную систему планирования» производства).

Таким образом, оптимизация документооборота в цехе теплообменного оборудования АО «ОКБМ Африкантов» с применением методов и инструментов ПСР и внедрение нового программного продукта по автоматизации документооборота позволила обеспечить выполнение заказов в срок без увеличения численности персонала.

Разработанный программный модуль по автоматизации документооборота успешно апробирован и введен в промышленную эксплуатацию с сентября 2017 года в цехе теплообменного оборудования. Структура модуля универсальна и позволяет выполнять работы в нем по любому изделию предприятия.

Общий экономический эффект от реализации работ по оптимизации документооборота составил на конец 2018 года ~ 17 млн руб. при затратах на реализацию 1,4 млн руб.

Выполненные программные разработки открывают новые возможности по автоматизации информационных потоков и бизнес-процессов при изготовлении как теплообменного оборудования, так и изделий других видов.



Рис. 7. Комплект документации на один модуль изделия РИТМ-200 до (13 папок) и после (7 папок) разработки новых форм заключений по результатам контроля изделий неразрушающими методами

Оптимизация производственных процессов в заготовительном цехе производства АО «ОКБМ Африкантов»

С. В. ОПАРИН, П. Е. КРУГЛОВ,
АО «ОКБМ Африкантов»,
г. Нижний Новгород

Рассмотрим результаты оптимизации производственных процессов в заготовительном цехе ОКБМ Африкантов, выполненной в соответствии с методологией бережливого производства производственной системы Росатома. Экономический эффект от выполненных работ значим для предприятия.

Основной задачей заготовительного цеха является своевременное обеспечение механосборочных цехов производства АО «ОКБМ Африкантов» необходимыми металлическими заготовками. Процесс подготовки заготовки для последующей передачи включает в себя следующие этапы:

- получение металлопроката с центрального склада предприятия;
- отрезка заготовок, при необходимости их термообработка;
- изготовление образцов для проведения контрольных испытаний (химический анализ, механические свойства при разных температурах, ударная вязкость, растяжение, сплющивание, изгиб, испытания на межкристаллитную коррозию, проверка макроструктуры, металлографические исследования, контроль неметаллических включений, определение содержания ферритной фазы и т. д.);
- передача образцов для проведения контрольных испытаний в специализированные подразделения, получение от них заключений по результатам испытаний;
- приёмка заготовок контролёрами отдела технического контроля;
- оформление сопроводительной документации «Карты контроля», где фиксируются все операции, которые проводились с заготовкой, согласование отступлений с конструкторскими и технологическими отделами, заказчиками, контролирующими ход работ.

С 2007 года производство АО «ОКБМ Африкантов» устойчиво развивается: расширяется номенклатура производимой продукции, растут её объёмы. Выпускается широкий спектр номенклатуры конструктивно сложной высокотехнологичной продукции для атомной энергетики, в том числе для зарубежных заказчиков, транспортных ядерных энергетических установок, разных отраслей промышленности. Серийно производится теплообменное оборудование, насосы, арматура, приводы, а также единично и в мелких сериях выпускаются уникальные изделия. Для изготовления продукции используется широкий спектр металлических конструкционных материалов. Это коррозионно-стойкие стали аустенитного



Рис. 1. Пример хранения металла в цехе до и после перепланировки

класса, перлитные стали, титановые сплавы, высоконикелевые сплавы, бронзы и ряд других материалов. С 2017 года механосборочное производство изготавливает 10000-12000 различных деталей в месяц из разных конструкционных материалов. Удовлетворение потребностей механосборочных цехов в заготовках из разных конструкционных материалов было невозможно без оптимизации производственных процессов в заготовительном цехе с применением методологии бережливого производства производственной системы Росатом, тем более, что имеется перспектива дальнейшего расширения объемов производства с 2020 года. Можно констатировать, что при существовавшей на 2016 год организации производственных процессов в заготовительном цехе не было резервов для необходимого сокращения времени их протекания, повышения производительности. Проведенный тогда анализ состояния дел показал, что для достижения цели удовлетворения потребностей механосборочных цехов в заготовках (в том числе в перспективе) необходимо последовательное решение следующих задач:

- 1) оптимизация перемещения и хранения металлопроката в заготовительном цехе;
- 2) организация постоянного контроля состояния металла в заготовительном цехе;
- 3) оптимизация взаимодействия с подразделениями, проводящими контрольные операции.

Отдельной задачей представлялось снижение складских запасов до необходимых для

обеспечения производства. Для её выполнения требовалась подробная инвентаризация всего металла с принятием решения по его дальнейшему использованию.

Для оптимальной организации перемещения, хранения металлопроката в заготовительном цехе в помещениях заготовительного цеха была произведена перепланировка в соответствии с методологией производственной системы Росатома. Были определены оптимальные траектории движения потоков металлопроката, заготовок, исходя из них размещены стеллажи для хранения металла, станки для резки и обработки металла, организованы рабочие места сотрудников. Фотографии стеллажей до перепланировки и после перепланировки приведены на рисунке 1.

Для эффективного использования металла должна быть полная актуальная информа-



Рис. 2. Пример штрих-кодирования металла

ЗАДАНИЕ НА РЕЗКУ ЗАГОТОВОК № _____

Подразделение 90
Участок резки проката

Штрих-код

Профиль и длина отрезаемой заготовки

Кол-во заготовок, которое необходимо отрезать

Посло- ваки	Пароль	Параметр Свойства	Зна- чение свойства	Наиме- нование заготовки	Обозначение заготовки	Материал	Классификация	Профиль, размер заготовки и количество заготовок в кг, шт	Классификация	Наиме- нование заготовки	Вес, кг	Место хранения	Пол- ное наиме- нование
857456	07 0 04 0-0 01-2 018		1141-19	Штанга 1024-46*70,58, 019 ГОСТ 22042-76	45			D10 x 440 / 4 L=440-440	1			Полка п.№62	210 02
0100004192, 45, D10, 2814902, Постав: 384467													
857456	07 0 04 0-0 01-2 018		1141-19	Штанга 1024-46*55,56, 019 ГОСТ 22042-76	45			D10 x 440 / 2 L=440-440	1			Полка п.№62	540 02
0100004192, 45, D10, 2814902, Постав: 384467													
857456	07 0 04 0-0 01-2 018		1141-19	Штанга 1024-46*100,58 ГОСТ 22042-76	45			D10 x 440 / 1 L=440-440	2				

Мастер: _____
Посмотреть: _____

Рис. 3. Пример задания на резку

ция о находящемся в заготовительном цехе металлопрокате, заготовках (место хранения, длина, диаметр, марка, партия и др.). Данная задача была решена с использованием Автоматизированной системы внутрицехового планирования (АСВП), разработанной АО «ОКБМ Африкантов», и применения в ней штрих-кодирования как одного из действенных инструментов бережливого производства, позволяющего ускорить процесс ввода-вывода информации. До внедрения данной системы на поиск и идентификацию состояния необходимого металла зачастую затрачивалось достаточно много времени (от 15 минут). Пример штрих-кодирования приведен на рисунке 2.

Данный штрих-код сопровождается металлопрокат, например, штангу, до полного списания остатков. С помощью системы штрих-кодирования ведётся учёт перемещений по местам хранения, операции расхода металла с идентификацией фактической длины остатка. Все задания на отрезку заготовок распечатываются со штрих-кодом изделия, для которого необходимо отрезать заготовку. В штрих-коде изделия, для которого отрезается заготовка, заложено обозначение и наименование, марка материала, профиль отрезаемого проката, длина заготовки, которую необходимо отрезать, прочая необходимая информация. Пример задания на резку приведен на рисунке 3.

Рабочий персонал, при помощи терминала сбора, фотография которого приведена на рисунке 4, самостоятельно производят списание отрезанного металла.

Рабочий сканирует штрих-код изделия в задании, затем сканирует штрих-код штанги, после чего система автоматически вычитает из первоначальной длины штанги длину, отрезанную резчиком. После чего все данные интегрируются в общую систему, где отображается вся информация об отрезке заготовок: кто и когда произвёл резку, из какого металла производилась резка, какой остаток штанги остался и т. д. Система штрих-кодирования была введена для того, чтобы исключить ручной ввод данных, так как при таких больших объёмах очень трудно и продолжительно вводить все цифры. Кроме того, система штрих-кодирования исключает ошибки персонала при вводе информации вручную.

Так же при помощи системы штрих-кодирования организована и адресная си-



Рис. 4. Терминал сбора данных

стема хранения. Для того, чтобы убрать заготовку или металлопрокат, необходимо считать штрих-код проката, после чего считать штрих-код места ячейки стеллажа, после чего в общей базе появится информация о местонахождении проката. Фотография ячейки хранения металлопроката приведена на рисунке 5.

С целью контроля прохождения сопроводительной документации штрих-код внедрён на карты контроля. Каждый исполнитель (ИТР, контролёр ОТК) при выполнении своей операции сканирует штрих-код и заводит данные в общую систему. Таким образом, в системе появляется информация обо всех замечаниях, согласованиях и этапах прохождения докумен-

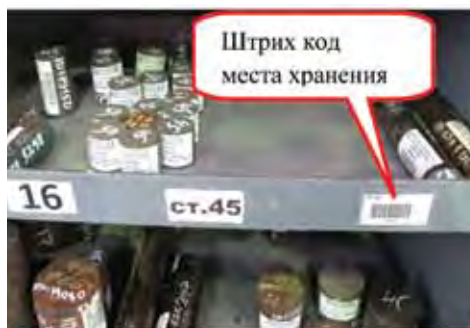


Рис. 5. Ячейка хранения металлопроката

тации. Внедрение системы штрихкодирования на сопроводительный документ изделия позволило реализовать полную прозрачность производственного процесса, что значительно увеличило управляемость, так как в настоящее время возможно оперативно отслеживать стадии формирования карт контроля, фиксацию исполнителей процесса, выполнение технологических операций.

Организована система подачи заявок на проведение испытания образцов в подразделении, проводящие контрольные испытания, и получения протоколов по результатам испытаний в электронном виде. Заявкам присваиваются разные приоритеты в зависимости от необходимости срочности выполнения. Эти мероприятия позволили сократить время с момента подачи заявки до выдачи результатов испытаний.

В конце 2018 года были подведены промежуточные итоги выполненной работы. Так, оптимизация производственных процессов в заготовительном цехе по методологии бережливого производства и производственной системы Росатома позволила:

- снизить складские запасы с 434 млн рублей до 105 млн рублей, то есть, более чем в четыре раза;
- сократить время протекания процесса с момента поступления металлопроката в цех до выдачи заготовок в производство на 40%;
- снизить незавершенное производство на 35% и, соответственно, сократить площади хранения;
- увеличить пропускную способность цеха при той же численности на 40%.

В 2019 -2020 годах планируется переход к электронным технологическим процессам и чертежам. Каждый сотрудник, имеющий право доступа, сможет получить необходимую актуальную документацию на рабочем месте, подписанную электронной подписью, что исключит время на поиск необходимой документации в архиве. Для рабочего персонала планируется установка терминалов с возможностью просмотра и распечатки документации. Также в 2019 году ведётся разработка приложения на операционной системе Android для считывания штрих-кодов и планируется ввод беспроводной точки доступа в заготовительном цехе. Это ускорит передачу данных через систему штрих-кодирования.

Применение методологии бережливого производства производственной системы Росатома при оптимизации производственных процессов в заготовительном цехе позволило создать в АО «ОКБМ Африкантов» без увеличения численности персонала новое современное заготовительное производство, способное полностью удовлетворить потребности производства с учётом многозадачности при существующей номенклатуре выпускаемых изделий и роста объемов производства в ближайшем будущем.

Оптимизация производственных процессов в заготовительном цехе дала значительный экономический эффект для предприятия – складские запасы существенно снижены, объёмы незавершенного производства уменьшены. При сохранении численности персонала производительность труда в цехе повышена на 40%.

На следующем этапе повышения эффективности работы заготовительного цеха планируется оптимизация работы с документацией посредством перехода к электронным технологическим процессам и данными путем усовершенствования передачи данных через систему штрих-кодирования.

Автоматизация процесса организации и обеспечения работ по проведению оценки соответствия продукции в форме приемки для АЭС на основе АС «Оценка соответствия»

**Ю. Т. РЯЗАНОВСКАЯ, Е. Л. БАГРОВА,
И. Г. МИНАЙЛОВА,
ФГУП «ВНИИ автоматики
им. Н. Л. Духова»,
г. Москва**

Организация, документирование и обеспечение мониторинга работ по проведению оценки соответствия продукции в форме приемки для АЭС (далее – оценка соответствия) является трудоемким процессом, включающим значительное количество информационных потоков, обусловленных участием в данном процессе более 20 подразделений ФГУП «ВНИИА» и 30 представителей заинтересованных сторон, а также большим количеством работ по разработке и согласованию документации.

Постоянное увеличение объема и номенклатуры продукции, поставляемой на АЭС (Белорусская, Ленинградская, Нововоронежская, Калининская, Курская, «Руппур», «Куданкулам», «Бушер» и др.), связанное с сооружением и вводом в эксплуатацию новых атомных станций (блоков АЭС), модернизацией блоков АЭС, введение новых законодательных и нормативных требований к оценке соответствия в области использования атомной энергии, а также расширение спектра цифровизации и обеспечение эффективной поддержки достижения стратегических целей ГК «Росатом» продиктовало необходимость оптимизации процесса оценки соответствия для российских и зарубежных атомных станций посредством его автоматизации.

В ходе проведенного анализа рынка существующих в РФ автоматизированных систем (АС) было выявлено, что подобные системы для автоматизации процесса оценки соответствия отсутствуют, вследствие чего было предложено разработать собственную авто-

матизированную систему информационной поддержки управления качеством «Оценка соответствия».

При заключении с ФГУП «ВНИИА» договора на поставку оборудования для АЭС Заказчик выбирает специализированную организацию, направляя ей поручение, в котором уполномочивает ее контролировать качество изготавливаемой ФГУП «ВНИИА» продукции.

После подписания договора назначается ведущий по проекту (далее по тексту – ведущий), который сопровождает и ведет процесс изготовления продукции для последующей поставки на АЭС.

Ведущий, в соответствии с требованиями договора, направляет исходные данные в подразделения ФГУП «ВНИИА», ответственные за обеспечение подготовки и производства продукции и за разработку планов качества.

План качества (ПК) – отчетный документ по оценке соответствия, входящий в комплект документации, поставляемой с оборудованием на АЭС. ПК содержит записи о результатах проведенных работ в последовательных контрольных точках согласно технологическому процессу на изготовление продукции. В свою очередь, контрольная точка (КТ) – это технологическая и/или контрольная операция изготовления, включая специальные проверки и испытания или приемки продукции, либо совокупность указанных операций, согласно технологическому циклу изготовления, подлежащая контролю в соответствии с планом качества. Освидетельствование контрольных точек, в зависимости от их статуса, осуществляется при участии представителя специализированной организации и других заинтересованных сторон.

После разработки план качества направляется на согласование в специализированную организацию, АЭС и другим заинтересованным сторонам для подтверждения

участия их представителей в освидетельствовании КТ.

По мере изготовления оборудования осуществляется вызов представителей специализированной организации и других заинтересованных сторон для проведения работ в конкретных КТ планов качества. Для этого в их адреса направляются письма и уведомления.

Завершаются работы по оценке соответствия проведением приемочной инспекции и окончательным оформлением ПК, который направляется на станцию вместе с изготовленным оборудованием.

Процесс оценки соответствия представлен на рисунке 1.

Разработанная АС представляет собой централизованную базу данных по оценке соответствия и предназначена для автоматизированного создания, учета и хранения ПК (по видам и типам продукции, по объектам поставки (оборудования) и других сопутствующих документов (уведомлений, заключений, писем о вызове представителей заинтересованных сторон и т. п.).

АС позволяет осуществлять следующие действия:

- создавать и редактировать ПК, уведомления, заключения, письма, используя различные шаблоны;
- просматривать данные и распечатывать ПК, уведомления, заключения, письма;
- фильтровать данные ПК по заданным критериям;
- оперативно осуществлять поиск информации и отслеживать статус работ в КТ.

Главная страница АС состоит из пяти основных кнопок/блоков (рисунок 2):

При нажатии на первую кнопку «Создать заявку на разработку плана качества» АС предлагает ведущему заполнить соответствующую форму (шаблон), содержащую следующие поля: «Объект» (перечень АЭС, с которыми заключе-

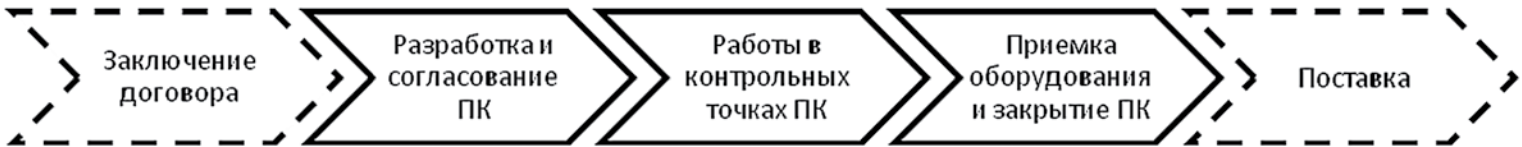


Рис. 1. Этапы процесса АС «Оценка соответствия»



Рис. 2. Главная страница АС «Оценка соответствия»

ны договоры на поставку), «Энергоблок» (перечень из номеров энергоблоков), «Наименование оборудования» (перечень всей номенклатуры оборудования ТПТС/ДД), «Обозначение оборудования» (заполняется вручную), «Номер поручения» (заполняется вручную), «Номер договора» (перечень договоров), «Ведущий по проекту» (перечень ведущих по всем проектам) и «Специализированная организация» (перечень специализированных организаций). Ведущий последовательно заполняет поля формы. Вся введенная вручную информация может использоваться повторно при заполнении форм для другого оборудования. После заполнения всех полей формы ведущий нажимает кнопку «Отправить заявку», после чего открывается окно MS Outlook с шаблоном сообщения, содержащим электронные адреса начальника подразделения и исполнителя, ответственного за разработку плана качества (далее по тексту – ответственный исполнитель). Сообщение содержит заполненную ранее форму и стандартный текст с возможностью его изменения. К сообщению ведущий прикрепляет спецификацию оборудования, подлежащего оценке соответствия.

После получения сообщения от ведущего ответственный исполнитель должен нажать на кнопку «Разработать план качества» главной страницы АС и открыть форму, содержащую как пустые поля, так и поля, ранее заполненные ведущим. При дальнейшем заполнении формы ответственный исполнитель вводит дату создания ПК из календаря, выбирает группу оборудования из выпадающих списков, присваивает порядковый номер ПК, загружает спецификацию и нажимает на кнопку «Создать план качества». Загружается сформированный план качества, который можно сохранить в формате .doc. Ответственный исполнитель прикрепляет план качества к форме в соответствующем поле, устанавливается статус ПК «Разработан». Далее ответственный исполнитель направляет план качества с сопроводи-

тельным письмом на согласование в специализированную организацию, АЭС и другим заинтересованным сторонам. Шаблон письма доступен при нажатии на кнопку «Согласовать план качества». Исходящие и входящие письма о согласовании плана качества ответственный исполнитель прикрепляет к форме, статус ПК меняется на «Согласован».

Для перехода к следующему этапу ответственному исполнителю необходимо нажать на кнопку «Работа в контрольных точках плана качества». Форма представляет собой перечень контрольных точек с указанием их статуса. По мере готовности продукции подразделения, ответственные за каждую конкретную КТ, указывают предварительную дату, когда они готовы предоставить необходимую документацию и продукцию специализированной организации для проведения работ по освидетельствованию КТ.

Ответственный исполнитель формирует и направляет письмо о вызове представителей заинтересованных сторон и уведомление, которое содержит информацию о контрольной точке и предварительной дате ее закрытия (шаблоны письма и уведомления доступны при нажатии на соответствующие кнопки). Исходящее письмо, а также последующие ответы прикрепляются в соответствующие поля формы. По завершении освидетельствования контрольной точки ответственный исполнитель прикрепляет заключение о результатах работы, выбирает из списка представителя специализированной организации и вносит из календаря дату закрытия по отчетному документу ФГУП «ВНИИА» и фактическую дату подписания заключения специализированной организацией. Далее ответственный исполнитель выбирает из предложенного перечня соответствующий отчетный документ и прикрепляет его к форме и вносит отметку в статус КТ о том, что она закрыта. Подобная операция повторяется для каждой контрольной точки,

включая приемочную инспекцию. Как только все точки ПК закрыты, статус плана качества в системе меняется на «Закрыт». Ответственный исполнитель загружает в систему электронную версию в формате .pdf оформленного плана качества и подписанных уведомлений о контроле (приемке)/заключений о контроле (приемке), тем самым завершается процесс оценки соответствия и создается централизованное хранилище информации по всем проектам.

Формы всех документов, формируемых системой, соответствуют стандарту предприятия СТО Т 11.23-2013 «СМК. Контроль и испытания. Порядок проведения работ по оценке соответствия продукции для атомных станций».

АС «Оценка соответствия» – это инструмент для осуществления полного цикла процесса оценки соответствия, ключевыми особенностями которого являются:

- 1) сбор и обмен информацией об оценке соответствия в электронном виде;
- 2) оперативный доступ к актуальной информации о состоянии работ по оценке соответствия;
- 3) одновременная работа нескольких пользователей;
- 4) прослеживаемость и прозрачность процесса;
- 5) единое хранилище документации по качеству продукции и оценке соответствия;
- 6) экспорт файлов в документы Microsoft Word и Excel;
- 7) интеграция с другими приложениями ФГУП «ВНИИА»;
- 8) разграничение прав доступа;
- 9) однократный ввод данных в систему;
- 10) дружественный интерфейс.

Применение АС «Оценка соответствия» позволяет:

- существенно сократить трудозатраты и сроки протекания процесса;
- оперативно взаимодействовать с заказчиками по вопросам согласования планов качества и проведения инспекций в контрольных точках, тем самым повышая их удовлетворенность;
- создавать аналитические отчеты, позволяющие выводить любую необходимую и актуальную информацию о работах по оценке соответствия;
- достичь стратегической цели Госкорпорации «Росатом» в части снижения сроков протекания процессов и цифровизации задач управления качеством.

В результате проведенной работы удалось создать АС, оптимизировавшую процесс организации, обеспечения, мониторинга и документирования работ по проведению оценки соответствия продукции в форме приемки.

В целях реализации стратегических целей Госкорпорации в части создания новых продуктов для российского рынка планируется предложить данное решение для тиражирования в контуре Госкорпорации «Росатом».

Литература:

Жураковский А. С. Разработка программы оптимизации бизнес-процессов на основе совершенствования системы менеджмента качества продукции производственных компаний // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2017. № 2. С. 86-92.

Монолитная интегральная схема широкополосного усилителя мощности диапазона 12 – 32 ГГц

**А. О. ЛАДЫГИН, В. И. ЛЕСНЯК,
Е. В. САТУЛОВА,
ФГУП «Ростовский-на-Дону
НИИ радиосвязи», ФНПЦ,
г. Ростов-на-Дону**

В настоящее время широкополосные усилители мощности являются ключевыми элементами в различных системах связи. К таким системам относятся системы широкополосной связи (LMDS), системы широкополосной сотовой связи (5G), системы спутниковой связи (VSAT) и различные системы навигации [1].

Актуальна задача создания МИС широкополосных усилителей мощности сантиметрового и миллиметрового диапазона частот с характеристиками на уровне ведущих мировых аналогов.

Специалисты Ростовского-на-Дону научно-исследовательского института радиосвязи поставили перед собой задачу по разработке, изготовлению и экспериментальному исследованию МИС широкополосного усилителя мощности с однополярным питанием и характеристиками: полосу рабочих частот 12 – 32 ГГц; коэффициент усиления – не менее 22 дБ; выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ – не менее 17,5 дБм; выходная мощность насыщения – не менее 21 дБм; КСВН входа и выхода – не более 2 отн. ед.

В рамках этой работы были решены следующие задачи:

1. разработка транзистора по GaAs pHEMT технологии с повышенным напряжением пробоя исток-сток;
2. разработка принципиальной электрической схемы и топологии широко-полосного усилителя мощности;
3. экспериментальное исследование МИС широкополосного усилителя мощности. Анализ полученных результатов.

Ключевой задачей при изготовлении МИС широкополосного усилителя мощности диапазона частот 12–32 ГГц является необходимость создания транзистора с повышенным рабочим напряжением [2, 3]. С целью уменьшения сопротивления и ёмкости затвора, а также обеспечения требуемой частоты работы устройства изготовлены транзисторы с затворами Т-образной формы.

Для повышения пробивного напряжения транзисторов при сохранении высокого значения крутизны необходимо увеличить расстояние от $n +$ слоя до затвора. Использо-

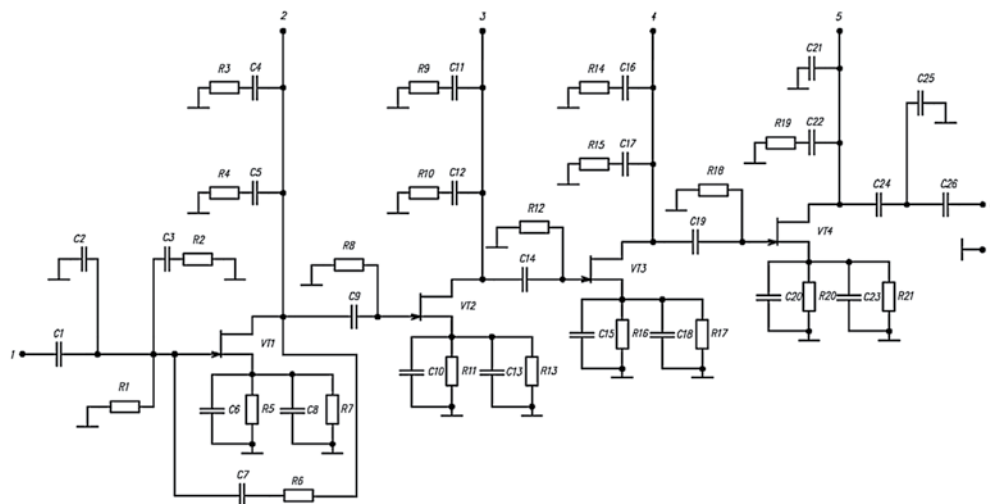


Рис. 1. Электрическая схема широкополосного усилителя

вание структур со стоп-слоем и исследование различных составов селективных травителей позволило изготовить транзисторы по GaAs pHEMT технологии с характеристиками: ток насыщения $I_n = 380$ мА/мм; максимальное значение крутизны BAX

$S_{max} = 550$ мСм/мм; пробивное напряжение исток-сток $U_{проб} = 8$ В.

При проектировании МИС с использованием полевого транзистора в качестве активного элемента использована нелинейная модель Ангелова, полученная на основе измерений вольт-амперных, вольт-фарадных и СВЧ характеристик специальной тестовой матрицы транзисторов в программной среде IC-CAP [4, 5].

Для достижения предъявленных требований разработана принципиальная электрическая схема с четырьмя усилительными каскадами на pHEMT-транзисторах.

Реализация требуемого режима работы по постоянному току при однополярном напряжении питания +5 В обеспечена использованием схемы автосмещения в каждом каскаде усилителя. Для достижения требуемого уровня выходной мощности и линейности динамической характеристики, а также требуемого коэффициента усиления, пониженного тока покоя выбран режим усилителя класса AB. Рабочая точка, соответствующая режиму AB, регулировалась посредством резисторов в цепи автосмещения.

В первом каскаде усилителя с общей шириной затвора 360 мкм использованы реактивные согласующие-выравнивающие цепи для согласования транзистора с трактом передачи по входу в рабочем диапазоне частот. Для выравнивания коэффициента усиления и блокировки возникновения самовозбуждения усилителя по первому каскаду была

применена схема отрицательной обратной связи (RC цепь).

При разработке межкаскадных согласующих цепей второго и третьего каскада с общей шириной затвора 360 мкм и 480 мкм соответственно основной задачей являлось обеспечение требуемого уровня коэффициента усиления и линейности динамической характеристики схемы в диапазоне частот 12–32 ГГц [6, 7].

Четвертый каскад с общей шириной затвора 600 мкм обеспечил выходную мощность не менее 21 дБм во всей рабочей полосе частот при согласовании с трактом передачи по выходу. Проведена комплексная корректировка всех параметров элементов схемы, в процессе которой особое внимание уделялось обеспечению абсолютной устойчивости схемы.

На рисунке 1 представлена разработанная схема, включающая в себя все согласующие цепи, а также цепи ввода и блокировки питания.

После оптимизации параметров электрической схемы проводился электромагнитный анализ разработанной топологии с последующей ее корректировкой.

Размер изготовленного кристалла составил $2,7 \times 1,15 \times 0,05$ мм

На рисунках 2-5 приведены результаты измерений СВЧ-параметров и динамических характеристик широкополосного усилителя мощности.

Малосигнальный коэффициент усиления в диапазоне частот 12–32 ГГц составил не менее 22 дБ.

КСВН входа в диапазоне частот 12–32 ГГц составил менее 2 отн. ед.,

КСВН выхода в диапазоне частот 12–32 ГГц – менее 1,7 отн. ед.

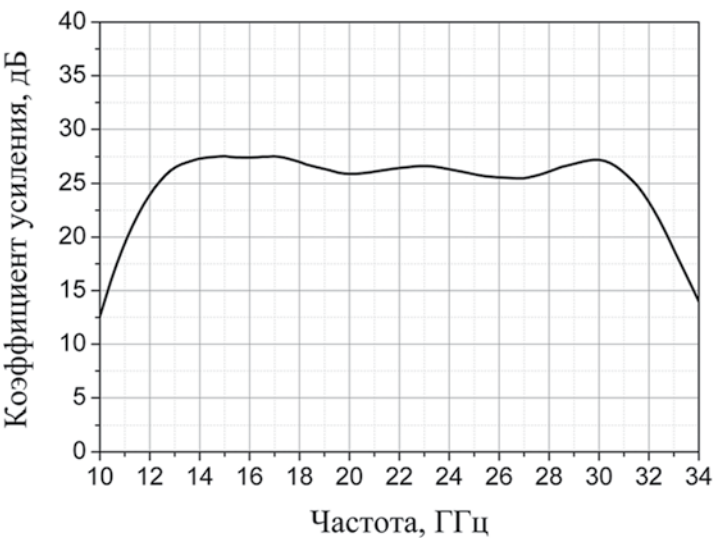


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления от частоты

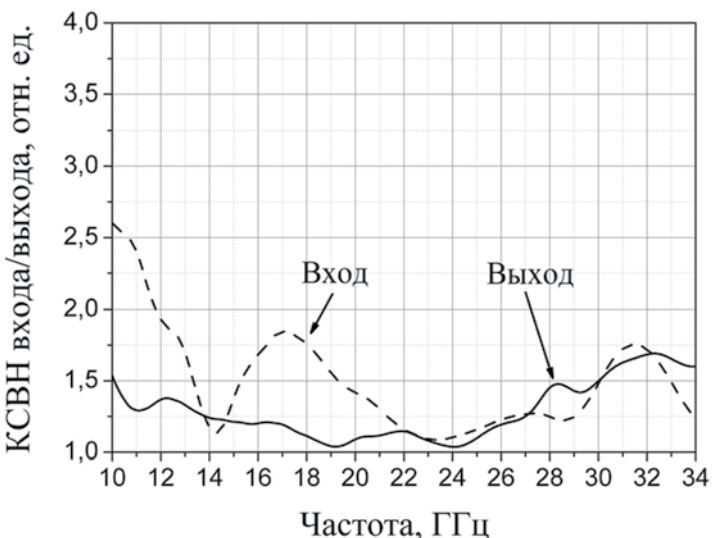


Рис. 3. Зависимость КСВН входа / выхода от частоты входного сигнала

Результаты исследований динамических характеристик приведены на рисунках 4, 5.

Мощность при односторонней компрессии коэффициента усиления в рабочем диапазоне частот – не менее 17,5 дБм, в диапазоне 28–31 ГГц – не менее 20 дБм.

Выходная мощность насыщения в рабочем диапазоне частот – не менее 21 дБм.

В таблице 1 приведены характеристики разработанного и изготовленного на технологической базе ФГУП «РНИИРС» широкополосного усилителя мощности и ближайших зарубежных аналогов.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанные транзисторы по GaAs рНЕМТ технологии с напряжением пробоя исток-сток 8 В обеспечивают изготовление опытных образцов МИС широкополосного усилителя мощности размером 2,7×1,15×0,05 мм.
2. Разработанная принципиальная электрическая схема и топология МИС широкополосного усилителя мощности с четырьмя усилительными каскадами осуществляет

работу устройства при однополярном питании +5 В.

3. Экспериментальное исследование МИС широкополосного усилителя мощности показало, что в диапазоне частот 12 – 32 ГГц коэффициент усиления составляет не менее 22 дБ; выходная мощность при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ – не менее 17,5 дБм; выходная мощность насыщения – не менее 21 дБм; КСВН входа и выхода – не более 2 отн. ед.

4. Анализ полученных характеристик и сравнение их с зарубежными аналогами ведущих мировых производителей подтверждает, что разработан и изготовлен широкополосный усилитель мощности с характеристиками на уровне ведущих мировых производителей.

Литература:

1. RFIC and MMIC design and technology // Edited by I. D. Robertson, S. Lucyszyn – The Institution of Electrical Engineers, 2001 – 562 p.

2. Николаева Т. А., Слукин Д. Ю., Толстоуцкий С. И.,

Хара К. А., Шевцов А. В. Монолитная интегральная схема усилителя средней мощности К-Ка диапазона. // Общие вопросы радиоэлектроники. ФГУП «РНИИРС», 2018, с. 89-95.

3. Иващенко Д. И., Толстоуцкий С. И. Исследование влияния ширины затвора на частотные характеристики полевых гетероструктурных СВЧ транзисторов на арсениде галлия. // Общие вопросы радиоэлектроники. ФГУП «РНИИРС», 2012, вып.1, с. 140-144.

4. Monolithic Microwave Integrated Circuits: Technology & Design // Edited by Ravender Goyal, 1989 – 846 p.

5. Безус С. В., Иващенко Д. И., Казачков В. В., Тихов Ю. И., Толстоуцкий С. И. Применение X-параметров для проектирования МИС СВЧ-усилителей. – «Успехи современной радиоэлектроники», Москва, 2013, вып. 8, с.с. 117-123, ISSN 2070-0784.

6. J. Komiak, W. Kong, and K. Nichols, «High efficiency wideband 6 to 18 GHz pHEMT power amplifier MMIC», in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp., vol. 2. Jun. 2002, pp. 905–907.

7. Hui Zhang, Guoming Qian, Weiye Zhong, Cong Liu. «A 3–15 GHz ultra-wideband 0.15-μm pHEMT low noise amplifier design» EuMC, pp. 235-238, Sept. 26 January 2017.

Таблица 1. Характеристики устройств

Название устройства	Фирма-изготовитель	Рабочая полоса частот, ГГц	Коэффициент усиления, дБ	P1dB, дБм	Мощность насыщения, дБм
МИС усилителя	ФГУП «РНИИРС»	12-32	22	17,5	
HMC383	Analog Devices	12-30	15	14	17
CH3689-99F	UMS	12,5-30	22	14	17

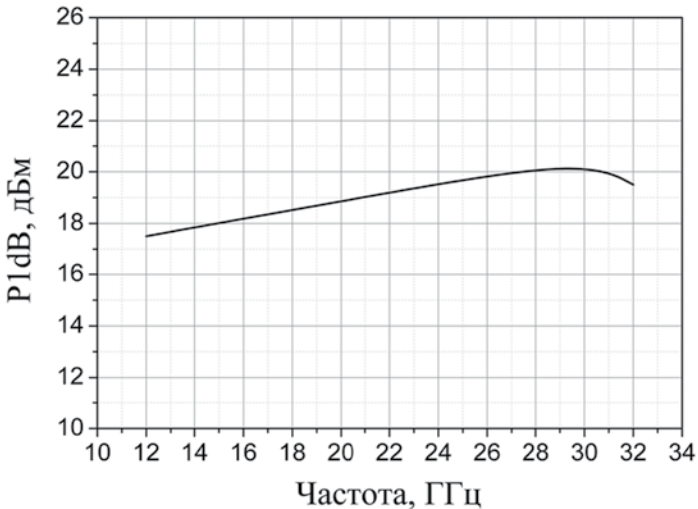


Рис. 4. Зависимость мощности при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ от частоты входного сигнала

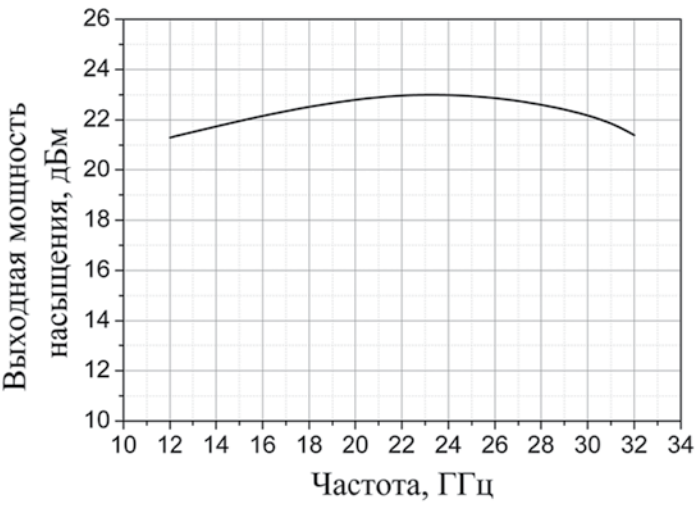


Рис. 5. Зависимость выходной мощности от частоты (мощность входного сигнала +3 дБм)

Влияние накопленного заряда на гетерограницах тонкопленочных полупроводниковых структур

К. А. НАСЕТКИН, А. С. ПУЗАНОВ,
филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
«НИИИС им. Ю. Е. Седакова»,
г. Нижний Новгород

Основной тенденцией развития цифровой и аналоговой твердотельной электроники является уменьшение размеров полупроводниковых структур [1], что приводит к улучшению их характеристик: уменьшению энергии переключения цифровых элементов и уменьшению времени пролета рабочей области аналоговых элементов. Это обуславливает рост числа элементов цифровых микросхем и увеличение предельных частот аналоговых устройств.

В настоящее время накоплен обширный теоретический и экспериментальный материал по вопросам воздействия проникающих излучений различной природы на полупроводниковые приборы с характерными размерами рабочих областей свыше 350...500 нм. Однако исследования функционирования изделий микроэлектроники с характерными размерами элементов менее 180 нм при воздействии проникающих излучений только начинаются.

Уменьшение рабочих областей полупроводниковых приборов до размеров порядка длины релаксации энергии приводит к принципиальному изменению физических процессов движения носителей заряда в коротких структурах. В субмикронных полевых транзисторах движение электронов становится практически безстолкновительным, то есть, реализуются условия квазибаллистического режима переноса носителей заряда.

Малая толщина рабочей области полупроводниковых элементов приводит к усилению роли неоднородностей границ раздела слоев полупроводник-диэлектрик. Влияние неоднородности границы раздела полупроводник-диэлектрик на подвижность носителей заряда в канале полевого транзистора «металл-диэлектрик-полупроводник», изготовленного по технологии «кремний на изоляторе» (КНИ), впервые рассмотрено в работе [2]. Масшта-

бирование привело к проявлению квантово-размерных эффектов в канале транзисторов с высокой подвижностью электронов. Влияние неоднородности квантовой ямы по длине канала транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT) впервые рассмотрено в работе [3].

Действие низкоинтенсивных проникающих излучений приводит к накоплению заряда в диэлектрических слоях и границах раздела «полупроводник-диэлектрик». Это приводит к перераспределению электрического поля в канале транзистора, а также искажению потенциального рельефа границ раздела «полупроводник-диэлектрик». Оба вышеуказанных фактора приводят к изменению характера движения носителей в канале транзистора и, следовательно, величины протекающего тока.

Цель работы и методология исследований

Целью данной работы была разработка компактной модели субмикронного полевого КНИ транзистора с учетом воздействия низкоинтенсивных проникающих излучений, аналогичной ранее предложенной компактной локально-неравновесной модели биполярного транзистора с тонкой базой [4-6].

На данный момент, размеры КНИ транзисторов достигли размеров, при которых влияние неоднородности границ становится важным фактором. Фактически происходит переход к топологическим нормам, при которых структура становится тонкопленочной. Это позволяет сравнивать процессы, протекающие в наноразмерных структурах КНИ с другими тонкопленочными полупроводниковыми приборами, в частности, с HEMT.

Как и в случае с любыми тонкопленочными структурами, при воздействии низкоинтенсивных проникающих излучений значительное влияние на протекающие процессы оказывает качество гетерограниц. В работе [7] показано, что наибольшее влияние на подвижность в HEMT оказывает шероховатость поверхности гетерограниц. Эти шероховатости делят на несколько компонент: микрометровые ше-

роховатости решетчатого вида, являющиеся следствием прорастания дефектов, вызванных разностью постоянных решеток материалов, шероховатости размера 1000 Å, связанные с трехмерным ростом канала, и дефекты размера 10-100 Å.

Все эти дефекты продуцируют дополнительные глубокие центры, на которые эффективно захватываются дырки в случае воздействия низкоинтенсивного проникающего излучения. Таким образом, увеличение шероховатости гетерограниц приводит к увеличению накопления положительного заряда при воздействии низкоинтенсивного проникающего излучения, в том числе и в канале транзистора. Это приводит к тому, что происходит увеличение изменения поля канала.

Подобные процессы происходят и в субмикронных КНИ транзисторах. В отечественной практике принято учитывать эти изменения в подвижности, которая измеряется или из соотношения поля с протекающим током или через соотношение Холла. В обоих случаях получаемая подвижность является косвенным измерением, являющимся зависимым от напряженности электрического поля. Соответственно, в случае изменения пространственной структуры электрического поля наведенным электростатическим зарядом тяжело отделить изменение реальной подвижности от изменения поля, которое вносит изменения в вычисления. Так как подвижность и емкость оксида мультипликативно входят в формулы для вычисления тока, протекающего через канал транзистора, то с феноменологической точки зрения неважно, какой из параметров принимается радиационно чувствительным. Однако это существенным образом повышает погрешность моделирования ионизационной реакции субмикронных транзисторов, так как подвижность становится «перегруженным» параметром модели в силу одновременной зависимости от двух параметров $\mu = \mu(L, D)$, где L – длина канала транзистора.

В случае перехода к субмикронным КНИ, начинают проявляться короткоканальные эффекты. На рабочие характеристики суб-

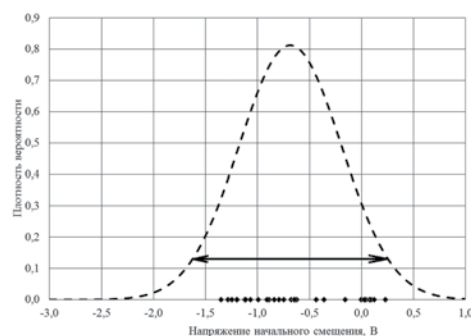


Рис. 1. Оценка разброса напряжения автосмещения: (•) – результаты измерений; (---) – оценка плотности вероятности функции распределения

микронных транзисторов существенно влияют такие физические эффекты как разогрев электронно-дырочной плазмы, превышение скоростью носителей заряда скорости насыщения в областях сильного изменения электрического поля и др. Эти эффекты учтены в квазигидродинамической модели [8] переноса носителей заряда в полупроводниковой структуре. Доминирующим механизмом рассеяния, определяющим температурную зависимость подвижности, будет считаться рассеяние на продольных акустических фононах, что дает

$$\mu(T) = \mu(T_0) \left(\frac{T_C + T_0}{T + T_0} \right)^{1/2} \quad (1)$$

где T_0 – равновесная температура, а характерная величина T_C введена для приближенного учета альтернативных механизмов рассеяния, существенных при низких температурах. Отсюда видно, откуда возникает высокая перегрузка параметра подвижности, что приводит к высокой погрешности компактных моделей, использующих этот параметр для учета воздействия проникающего излучения.

Таким образом, учет воздействия низкоинтенсивных проникающих излучений через изменение параметров, отвечающих за накопление заряда, является наиболее перспективным.

За основу модели была взята модель ультраквазигидродинамического электронного транспорта. Исходная модель не имеет радиационно-чувствительных параметров. Результирующие преобразования с учетом соотношений локального потенциала и превышения затворного напряжения над порогом дает следующее выражение для зависимости тока насыщения. Результирующие преобразования с учетом соотношений локального потенциала и превышения затворного напряжения

[9] над порогом дает следующее выражение для зависимости тока насыщения

$$I \approx \frac{C\mu W}{2L} (V_g - V_t)^2 \sqrt{35\phi_T} \quad (2)$$

Здесь C – удельная емкость оксида, W – ширина канала, V_g – напряжение на затворе, V_t – пороговое напряжение, $\phi_0 \approx 5\phi_T$, где ϕ_T – тепловой потенциал.

Результаты и их обсуждение

Радиационно чувствительным параметром модели являлось пороговое напряжение, изменение которого обусловлено накоплением положительного заряда дырок в захороненном оксиде и емкостью подзатворного диэлектрика, изменение которой обусловлено накоплением заряда на границе раздела полупроводник-диэлектрик, знак которого зависит от типа транзистора – отрицательного для n-канального и положительного для p-канального.

Из-за значительного разброса начальных условий было построено распределение вероятности (рис. 1). В качестве граничных отклонений был взят разброс на полуширине 2 (что обеспечивает попадание 95% образцов).

Были проведены расчеты автосмещения для микросхем с топологическими нормами 180, 90 и 45 нм (рис. 2). Из результатов моделирования следует, что при уменьшении топологических происходит уменьшение влияния дозовых эффектов [10], что хорошо согласуется с известными на данный момент экспериментальными данными и теоретическими представлениями. Однако, одновременно с этим, уменьшается максимальное напряжение, которое возможно прикладывать к подложке. Тем самым происходит уменьшение уровня, при котором происходит параметрический отказ блока автосмещения.

Таким образом, в работе предложена компактная модель короткоканальной структуры «кремний на изоляторе» с учетом накопления заряда в диэлектрических слоях при воздействии низкоинтенсивных проникающих излучений. Разработанная модель эквивалентна традиционной на схемотехническом уровне, однако имеет ряд преимуществ с точки зрения физического моделирования радиационных эффектов. В частности, за счет короткоканальных эффектов отвечают параметры подвижности носителей заряда в канале транзистора и степенной показатель в вольтамперной характеристике. Воздействие низкоинтенсивных проникающих излучений учитывается через изменение порогового напряжения и емкости структуры.

Предложенную модель возможно использовать для неразрушающей отбраковки гото-

вых цифровых микросхем высокой степени интеграции, оценивая уровень, при котором будет происходить параметрический отказ при воздействии низкоинтенсивных проникающих излучений.

Литература:

1. More Moore International roadmap for devices and systems: 2017 edition.
2. Ken Uchida, Shin-ichi Takagi Carrier scattering induced by thickness fluctuation of silicon-on-insulator film in ultrathin-body metal-oxide-semiconductor field-effect transistors // Applied Physics Letters 82, 2003 С. 2916-2918.
3. H. Sakaki, T. Noda, K. Hirakawa, M. Tanaka, T. Matsusue Interface roughness scattering in GaAs/AlAs quantum wells// Appl. Phys. Lett. 51, 1987 С. 1934-1936.
4. Пузанов А. С., Оболенский С. В. Аналитическая модель переходных ионизационных процессов в кремниевых биполярных транзисторах с тонкой базой при воздействии импульсного фотонного излучения // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2012. Вып. 4. С. 5-8.
5. Киселев В. К., Оболенский С. В., Пузанов А. С. Аналитическая модель деградации характеристик кремниевых биполярных транзисторов с тонкой базой при воздействии дефектообразующих излучений // Вестник ННГУ. Серия: Радиофизика. 2013. Вып. 2. С. 56-59.
6. Пузанов А. С. Аналитическая модель разогрева электронного газа в тонкой базе биполярного транзистора на основе Ge, Si и GaAs при воздействии стационарного потока квантов высоких энергий // Вестник ННГУ. Серия: Физика твердого тела. 2014. Вып. 2. С. 88-93.
7. R. M. Feenstra, M. A. Lutz, Frank Stern, K. Ismail Roughness analysis of Si/SiGe heterostructures // Journal of Vacuum Science & Technology B 13, 1995 С. 1608-1612.
8. Гергель В. А., Мокеров В. Г., Тимофеев М. В., Федоров Ю. В. Ультраквазигидродинамический электронный транспорт в субмикронных полевых МДП-транзисторах и гетеротранзисторах // Физика и техника полупроводников, 2000, Т. 34, № 2, С. 239. Гергель
9. Насеткин К. А., Муравьев М. С., Алимурзоев Г. М., Пузанов А. С., Забавичев И. Ю., Потехин А. А. Моделирование характеристик субмикронных структур «кремний на изоляторе» с учетом радиационных эффектов // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. Вып. 7. С. 127-130.
10. Насеткин К. А., Пузанов А. С. Учет воздействия низкоинтенсивных проникающих излучений в структурах «кремний на изоляторе» с цепью автокомпенсации // В кн.: Труды XXIV конференции «Нижегородская сессия молодых ученых». 2019. С. 203-205.

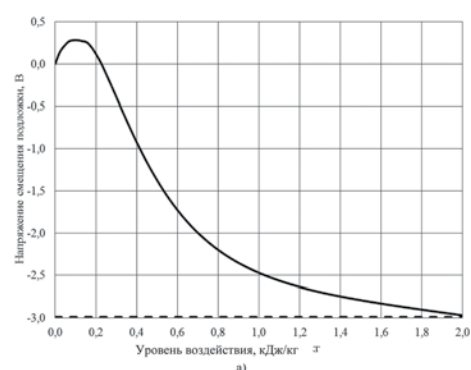


Рис. 2. Результаты моделирования зависимости напряжения смещения на подложке (—) от уровня воздействия для топологической нормы: а) 180 нм; б) 90 нм; в) 45 нм; (---) – расчетный уровень отказа блока автосмещения



Понять природу вещества

– «Как это сделано?!» – восклицает человек, наблюдая работу очередной технической новинки. Вопрос логичный, но не точный. Ибо в ответе на «как?», 50% займёт объяснение «из чего?» Да, в современном мире в основе любого технологического совершенства лежит совершенство материала, который обеспечивает ключевые качества финального продукта. Создать новый материал – это, конечно, не так модно звучит, как «создать новый дизайн». Но на практике всё иначе. Ибо любой дизайн без материала – картонная поделка пятилетних малышей. Разве что горит хорошо.

БРОНЯ, КОТОРАЯ ВЫИГРАЛА ВОЙНУ

В далеком уже 1939 году черной тучей надвигалась самая страшная в истории человечества мировая война. Сотни инженеров и конструкторов разных стран с жаром соревновались в подготовке эскизных проектов новых танков – могучих и красивых. Успехи были разные. Но только в СССР скромный начальник лаборатории Ижорского металлургического завода Андрей Сергеевич Завьялов начал не с эскиза, а с письма товарищу Сталину, в котором изложил свои мысли о необходимости создания принципиально новой танковой брони, и в частности заметил, что «сегодня имеем не танки, а ходячие гробы». В те времена и за меньшее можно было лишиться жизни. Но инженер Завьялов получил приглашение на заседание Политбюро Центрального комитета партии (тогда – фактически высший орган власти), где выступал и отвечал на вопросы несколько часов подряд. Итогом стал указ о создании Броневго института, который Андрей Сергеевич возглавил лично. Сегодня его детище известно в России и в мире как Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени академика И. В. Горынина в составе Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Пройден хороший путь. Славный. И он продолжается!

Возвращаясь к истории 80-летней давности, скажем главное. Благодаря Броневому институту, легендарный Т-34 уже в конце 1941 года получил цельнолитую башню из уникальной брони. Такой технологией тогда не обладал никто в мире. Помимо защитных качеств, литая броня для башен существенно ускоряла весь цикл изготовления танка целиком, что к 1943 году обеспечило нашей армии фатальный для противника перевес.

Броневой институт на лаврах не почивал. В короткие сроки здесь была создана тон-



А. С. Завьялов

кая цементованная броня для защиты спинки кресла пилотов штурмовой и истребительной авиации, разработаны материалы для изготовления бронебойных снарядов, которые успешно пробивали самые крепкие на тот момент немецкие танки «Тигр». В те же годы началась работа и в интересах флота – новый «рецепт» стали толщиной от 100 до 500 мм для вертикального и горизонтального бронирования линейных кораблей.

СТАЛЬ, КОТОРАЯ ОБЕСПЕЧИТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ

После Великой Победы именно флотская тема стала для института главной. С 1947 года здесь развернуты полномасштабные работы по созданию сталей, сплавов и методов их сварки для кораблей и судов. Из материалов, созданных учеными института, построены все надводные и подводные корабли советского и российского Военно-морского флота. Развитие отечественных сталей шло опережающими темпами по сравнению с зарубежными аналогами, и до настоящего времени эта тенденция сохраняется. Сегодня «Прометей» является ведущим материаловедческим центром по созданию материалов и технологий для судостроения, объектов морской техники, в том числе, для добычи нефти и газа на плярном шельфе.

Удачная конверсия оборонных разработок «подарила» серию сталей для строительства атомных ледоколов, атомных лихтеровозов, плавучих полупогружных и самоподъемных буровых установок, а также уникальных морских стационарных ледостойких платформ.

Логичным продолжением перехода военных разработок в гражданский флот станет применение лучших материалов во всех отраслях промышленности. Актуальнейшая задача наших дней, которую успешно решает «Прометей» – создание новых сталей с минимальным легированием, унифицированных





по химическому составу. Цель – внедрение более экономичных технологий производства сталей, сварки и сборки морской техники и любых других металлоемких изделий. А значит, рост конкурентоспособности отечественного машиностроения и ТЭК.

В институте проведен ряд исследований по использованию в металлургическом производстве технологий управляемого наноструктурирования при одновременном снижении уровня легирования. Управляемое формирование дисперсной матрицы, армированной частицами наноразмерного масштаба, обеспечивает прорывной технологический эффект в производстве и применении традиционных корпусных материалов. Это позволяет повысить прочность и снизить металлоемкость конструкций без существенных затрат на легирование. При этом сталь демонстрирует высокий уровень физико-механических свойств и сопротивления разрушениям.

Комплекс исследований в «Прометее» включал моделирование процессов горячей пластической деформации, их реализацию в условиях опытно-промышленного производства, а также структурные исследования на нескольких масштабных уровнях. Практика полностью подтвердила теорию.

В результате открывается возможность кардинальной унификации химического состава сталей с регулируемым уровнем прочности и уменьшением их номенклатуры для всех отраслей промышленности. Общее количество марок стали, отличающихся химическим составом, может быть при этом сокращено в 4-5 раз (!) при обеспечении в полной мере требуемых показателей качества. Можно не называть это революцией в современном сталепрокате. Но то, что это – вершина эволюции на сегодня, – факт.

РЕАКТОР, КОТОРЫЙ ПРОСЛУЖИТ 100 ЛЕТ

Бурный научно-технический прогресс, вступление человека в атомную эру потребовали новых компетенций. И с 1955 года институт приступил к работам по созданию высокопрочных теплостойких и радиационностойких материалов для атомных энергетических установок. Именно «Прометей» многие десятилетия выступает в роли головного разработчика материалов и технологий для АЭУ самых раз-

личных типов. Это фундаментальная основа безопасной эксплуатации ядерных объектов, которая связана с воздействием сверхвысокого давления, температур и нейтронного облучения.

Важнейшие совместные разработки Курчатовского института и ЦНИИ КМ «Прометей» обеспечили создание всех без исключения корабельных атомных энергетических установок и реакторных установок водо-водяного типа, ставших основой отечественной атомной энергетики.

В институте активно развивается научное направление по разработке методов прогнозирования и расчетно-экспериментального обоснования эксплуатационного ресурса атомных энергетических установок.

Не пытаясь изложить в краткой статье все успехи, остановимся на одном характерном примере. В 2013 году тогда заместитель генерального директора ЦНИИ КМ «Прометей» Георгий Павлович Карзов стал лауреатом Государственной премии за создание, в соавторстве, нового класса высокопрочных

материалов, которые увеличивают срок эксплуатации корпусов атомных реакторов до 100 лет, обладая повышенной стойкостью к жесткому радиационному излучению. Эта разработка существенно опередила подобные исследования во всем мире.

ЛЕДОКОЛ, КОТОРЫЙ НЕ УМЕЕТ РЖАВЕТЬ

Один из приоритетов развития российской экономики – освоение Арктики. Обеспечение круглогодичного функционирования Северного Морского пути, эксплуатация нефтегазовых месторождений арктического и дальневосточного шельфа, горнодобывающей промышленности в прибрежных регионах. Роль ледокольного флота в решении этих задач неоспорима.

Но, как выяснилось, стальные покорители северных широт имеют слабое место. В результате систематических обследований технического состояния атомных ледоколов, еще в 70-80-е годы XX века в СССР, стало очевидно, что коррозионно-эрозионный износ корпуса снижает ледопроемкость даже сверхмощных судов на 25-30%! То есть, фактически преодолеваемая ледоколом толщина льда может снизиться, по сравнению с расчётной, более чем на четверть!

Для предотвращения коррозионно-эрозионных повреждений нужно обеспечить абсолютную целостность специальных лакокрасочных покрытий, наносимых на корпус и предотвращающих прямой контакт металла с морской водой. Но добиться этого в реальных условиях можно только при регулярной постановке судна в сухой док. Что, по сути, выводит его из эксплуатации ежегодно на 1-2 месяца.

Альтернативным решением является использование в ледовом поясе ледокола би-металлических (плакированных) листов.

Еще в 1985–1988 годах «Прометеем» была создана плакированная сталь АБ1П для ледоколов. Разработанная технология обеспечивает сплошной характер и высокую прочность сцепления основного и плакирующего слоев, что гарантирует отсутствие отслоений при всех технологических процессах изготовления сварных.

В качестве основного слоя таких листов (как правило, толщиной 20-60 мм) приме-



Слой плакированной стали на ледоколе «50 лет Победы»

няется хладостойкая низкоуглеродистая высокопрочная корпусная сталь. Второй слой толщиной 3-6 мм, непосредственно контактирующий со льдом и водой, изготавливается из нержавеющей стали аустенитного класса, стойкой к износу и коррозии.

Но и этого недостаточно. Плакированная сталь защищает только критически важный участок корпуса ледокола, где происходит наиболее интенсивное трение об лед. А для предотвращения коррозии металла ниже ватерлинии ЦНИИ КМ «Прометей» более 30 лет разрабатывает и производит системы электрохимической катодной защиты, получившие широкое применение в судостроении и в строительстве шельфовых платформ.

Электрохимическая защита, в отличие от пассивных методов защиты, типа окраски, позволяет контролировать её эффективность прямо в движении. Катодная защита с внешним источником тока имеет небольшой вес, не влияет на гидродинамические характеристики судна и обеспечивает возможность автоматического регулирования работы в оптимальном режиме при различных условиях эксплуатации. Выдающаяся эффективность применения биметаллической стали для защиты ледового пояса атомных ледоколов в сочетании с катодной защитой подтверждена в условиях многолетней интенсивной эксплуатации ледокола «50 лет Победы» в условиях Северного морского пути.

Первоначально в отечественном и зарубежном судостроении в качестве материала для рабочих электродов анодов использовался платинированный титан. После детального изучения физико-химических процессов, протекающих в ходе реальной эксплуатации ледоколов, НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» разработал новую высокоэффективную систему электрохимической защиты на основе биметалла платина-ниобий, нанесенного магнетронным напылением в вакууме. Отдельно отметим, что электрохимическая защита является единственно возможным методом долговременной защиты от коррозии морских сооружений, которые в принципе не приспособлены для ремонта в доке.



Продукция, изготавливаемая методом ГИП

ТИТАН, КОТОРЫЙ ПОКОРЕЯЕТ ГЛУБИНУ

С середины 50-х годов прошлого века в институте развернуты масштабные работы по созданию сплавов на основе титана и алюминия. Высокопрочные алюминиевые сплавы, технологии получения из них полуфабрикатов

и технологии сварки способствовали созданию отечественного быстроходного флота – военного и гражданского.

«Прометеем» созданы высокотехнологичные свариваемые титановые сплавы для корпусов судов, обитаемых и необитаемых глубоководных аппаратов, насосов и бортовых трубопроводов, подводных крыльев, гребных винтов, валопроводов, систем водозабора быстроходных судов. Впервые в мировой практике для титановых сплавов была разработана технология сварки листов больших толщин и большой протяженности. Благодаря этому уже в 1969 году была построена первая в мире цельнотитановая подводная лодка, отличавшаяся рекордной скоростью подводного хода.

Использование сплавов титана в качестве корпусного материала для глубоководных технических средств позволяет достичь глубины погружения обитаемых подводных аппаратов до 6000 м и более, высокого ресурса эксплуатации корпуса (до 50 лет) и сокращения затрат на ремонт и восстановительные работы, а также немагнитности конструкций. Корпусные сплавы титана имеют исключительно высокую коррозионно-усталостную прочность и минимальные кавитационные потери. Из разработанных в «Прометее» титановых сплавов изготовлены прочные корпуса российских глубоководных аппаратов «Русь», «Консул», «Бестер», «Приз».

При научно-техническом сотрудничестве института с предприятиями судостроительной отрасли были решены важные научно-технические и технологические проблемы изготовления крупногабаритных титановых слитков, листов, плит, штампованных и кованых заготовок, других полуфабрикатов.

Сегодня ученые НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» работают над созданием титановых материалов с эффектом памяти формы при огромном рабочем диапазоне температур, что позволит конструировать функционально «умные» элементы морских систем с большим потенциалом применения.

Еще одним перспективным направлением для титановых сплавов в промышленности является переход к гранульной металлургии с применением горячего изостатического прессования. ГИП-технология позволяет создавать



Корвет с надстройкой из ПКМ



Монолитная обшивка корпуса тральщика из ПКМ на стапеле

сложные по геометрии объемные элементы конструкций с высоким уровнем свойств при минимальных технологических отходах.

Для деталей специального машиностроения, в которых применяются титановые сплавы, перспективным является использование аддитивных технологий с применением лазерных или электроннолучевых источников энергии.

КОМПОЗИТ, КОТОРЫЙ УЧИТСЯ ДУМАТЬ

С середины 80-х годов «Прометей» вошел в всемирную гонку разработки композитов. Сегодня очевидно для всех, что полимерные композиционные материалы (ПКМ) крайне актуальны с точки зрения возможного сочетания свойств (прочность, низкая плотность, теплоустойчивость, водостойкость), а также функциональных характеристик (радиопрозрачность, низкий коэффициент трения, высокий коэффициент механических потерь). Путем выбора и комбинации основных компонентов композита – армирующего материала и полимерной матрицы возможно менять его свойства в очень широком диапазоне. С точки зрения материаловедов это – кладезь новаций.

Для института было естественным возложить работы по созданию и применению стеклопластиков в судостроении. Были разработаны отечественные полимерные связующие и высокопрочные армирующие материалы, подробно исследованы их свойства, разработана технология изготовления крупногабаритных судовых конструкций. В советский период было построено из стеклопластика более 100 противоминных кораблей водоизмещением от 60 до 320 т. Смысл тут простой: магнитные мины на пластик не реагируют. В новом веке из полимерных композиционных материалов изготовлены «радиопрозрачные» трехъярусные надстройки и амортизационные рамы корветов проекта 20380 и 20382, монолитная обшивка корпуса тральщика проекта 12700 и 10750Э. Изготовление корпуса тральщика (длиной 70 м) методом

вакуумной инфузии обеспечило композиту высокую степень объемного армирования, низкий процент воздушных включений, что улучшает физико-механические свойства, снижает материалоемкость и трудоемкость изготовления конструкции.

Перспективным является создание новых проектов кораблей и судов из ПКМ с водоизмещением до 7000 тонн и выше. Теоретические расчеты говорят о возможности появления композитных судов с водоизмещением до 15 тысяч тонн.

В целях повышения скрытности и улучшения виброакустических характеристик боевых кораблей перспективно применение композиционного полимерного материала для изготовления лопастей гребных винтов, элементов судовых валопроводов и баллонов систем сжатого воздуха.

Традиционно школа НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» включает комплекс исследований «состав–структура–свойства», разработку технологии и создание опытного производства изделий для эксплуатации на реальных объектах. Этот подход обеспечил великолепные результаты при создании особого класса композитов – антифрикционных углепластиков. Еще в 1986 году в «Прометее» приступило к работе опытное производство композитных подшипников скольжения.

Впервые в мировой практике специалистами института созданы антифрикционные углепластики с уникальным комплексом триботехнических, физико-механических и технологических свойств, имеющих прочность, износостойкость, ударостойкость, стабильность размеров, технологичность на уровне металлов, но в отличие от них способных работать без смазки или при смазывании водой или даже агрессивными жидкостями.

Насосы с подшипниками из антифрикционных углепластиков успешно эксплуатируются на предприятиях ТЭК. Область применения этих высокопрочных композитов будет постоянно расширяться.

Существенное развитие в институте получили исследования по созданию сферо-

пластиков, вибропоглощающих и палубных противоскользких материалов. Сегодня эти направления объединяет общая исследовательская, компонентная и производственная база.

Сферопластики – это сложные композиты, которые обеспечивают положительную плавучесть глубоководных обитаемых и необитаемых систем с глубиной погружения до 6 км и более. Ключевое требование к сферопластикам – оптимизированные параметры прочности и плотности на основе оптимизации размера микросфер и использования новой отверждающей системы. Работы по усовершенствованию этого класса материалов продолжаются.

К композитным системам относятся и созданные институтом лакокрасочные покрытия для защиты от коррозии и обрастания морской техники. Для оценки эффективности используемых покрытий разработаны методы ускоренных испытаний, позволяющие прогнозировать надежность и долговечность испытываемых составов в конкретных условиях эксплуатации: надводных судовых конструкций, внутренних помещений судов, подводной части корпуса, балластных танков.

Вообще, следует отметить, что НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» располагает комплексом уникального испытательного оборудования, позволяющего моделировать в широком диапазоне воздействие практически всех эксплуатационных и климатических факторов и выполнять испытания, в том числе, с прогнозированием срока службы логических композитов.

Серьезнейшее внимание уделяется свойствам материалов для эксплуатации в предельно экстремальных средах. В институте создаются конструкционные полимерные композиты для эффективной защиты биологических объектов и электроники от ионизирующих излучений на транспортных атомных энергетических установках и в космической технике.

Новые композиты также будут востребованы в средствах радиосвязи и радионавигации, так как обладают высокой термостойкостью и повышенной стойкостью к коротковолновому



И. В. Горынин

излучению. Эффект от внедрения: создание более совершенных отечественных систем радиосвязи и радионавигации на высоких частотах.

Наконец, один из вызовов современности – это разработка интеллектуальных полимерных композиционных материалов с интегрированными волоконно-оптическими сенсорами, что обеспечит, например, возможность постоянного мониторинга прочности тяжело нагруженных судовых конструкций.

НАНОТЕХНОЛОГИЯ, КОТОРАЯ СОЗДАЁТ МЕТАМАТЕРИАЛ

В 2008 году в «Прометее» был сформирован научно-технологический комплекс по разработке конструкционных и функциональных наноматериалов (Наноцентр). С этого момента институт стал головной организацией по конструкционным наноматериалам в составе национальной нанотехнологической сети. То, что недавно казалось фантастикой, уже включено в производственные цепочки.

Например, разработана серия конструкционно-функциональных элементов и изделий в интересах флота. В их числе высокочастотные химические источники тока и тепла, системы очистки и опреснения воды с длительным сроком эксплуатации, каталитически активные нанокompозиты для систем паровой конверсии углеводородного сырья в водородное топливо, элементы теплообменных модулей энергетических установок, наноструктурированные износостойкие покрытия с регулируемой твердостью для пар трения...

Да, наши ученые уже довольно глубоко проникли в тайны вещества. Но это не предел. Запрограммированное изменение структуры материала на наноуровне позволяет получить у модифицированного объекта такие свойства, которые невозможны в природе. И тогда в мир технологий приходят метаматериалы.

Метаматериал – это композит, свойства которого обусловлены не столько свойствами его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой из макроскопических элементов, обладающих произвольными размерами и формой. Эта структура модифицирует диэлектрическую и магнитную проницаемость исходного объекта.

Метаматериалы обладают уникальными электрофизическими, акустическими, радиофизическими и оптическими свойствами. В отличие от обычных материалов, строительными блоками метаматериалов являются не атомы и молекулы, а более крупные объекты, представляющие собой электромагнитные резонаторы, обычно в виде металлических полосок, спиралей, разорванных колец. Размеры резонаторов и расстояния между ними



А. С. Орыщенко знакомит журналистов с испытательным стендом

остаются много меньше длины волны излучения, поэтому массивы таких резонаторов воспринимаются излучением как сплошная электромагнитная среда с определенными величинами эффективной диэлектрической и магнитной проницаемости. Изменяя форму, размеры, взаимное расположение резонаторов, можно направленно формировать и менять свойства метаматериалов.

Потенциальные применения метаматериалов на ближайшие десятилетия охватывают все области, где используется электромагнитное излучение – от космических систем до медицины. В терагерцовом спектре, для которого практически отсутствуют устройства управления излучением, с помощью метаматериалов уже решены многие проблемы. С их помощью можно не только существенно улучшить параметры известных электромагнитных приборов, таких как фазированные антенные решетки, селективные поглотители излучения, солнечные батареи, но и создать принципиально новые приборы – от сверхлинз с разрешением, много меньшим длины волны излучения, до экранов невидимости.

В радиофизике и астрономии начинают использовать специальные покрытия для защиты телескопов и сенсоров, применяющих длинноволновое излучение.

В оптике дифракционное преломление также найдет широчайшее применение. К примеру, уже создана суперлинза, которая позволяет решить проблему дифракционного предела разрешения стандартной оптики.

В микроэлектронике метаматериалы могут произвести настоящую революцию,

которая изменит жизнь практически каждого человека. К примеру, могут появиться на порядок меньшие и невероятно эффективные устройства и антенны для мобильных и многое другое.

Благодаря применению материалов с измененной структурой уже появляются лазеры, которые при меньшей потребляемой энергии выдают на порядок более мощный световой импульс. Промышленные лазеры смогут качественно разрезать не только металл толщиной в несколько десятков миллиметров, но и на порядок большей величины.

Ряд новых искусственных материалов позволит создать приборы, способные «видеть» сквозь стены.

«Прометей» имеет хорошие возможности для развития темы метаматериалов. Это создание сверхтонких микро- и нанопроводов в стеклянной изоляции, магнетронное получение тонких пленок различной конфигурации из магнитомягких сплавов, создание 3D-структур сложной формы с использованием лазерного синтеза и многое другое. Здесь видится большая созидательная перспектива, вызов времени, когда именно материаловедение обеспечит человечеству новый технологический скачок. И мы должны быть в числе первых!

КАДРЫ, КОТОРЫЕ РЕШАЮТ ВСЁ

Генеральный директор НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» доктор технических наук, профессор Алексей Сергеевич Орыщенко как-то заметил, что

институту всегда везло с руководителями и сподвижниками. Первый директор Андрей Сергеевич Завьялов уверенно привел свой коллектив к участию в советском атомном проекте, «отцом» которого был академик И. В. Курчатов. Атомный флот создавался при решающем участии академика А. П. Александрова – будущего директора Курчатовского института, президента Академии наук СССР. В ряду этих титанов стоит и академик Игорь Васильевич Горынин – человек, который 40 лет возглавлял ЦНИИ КМ «Прометей», и чье славное имя институт носит сегодня.

С 2016 года «Прометей» вошел в структуру Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», что поднимает возможности координации совместных и сопредельных исследований на новый уровень.

Отметивший свое 80-летие, «Прометей» уверенно смотрит в будущее. Сильный научный коллектив института входит в эпоху, где помимо традиционных компетенций расширяется использование передовых междисциплинарных знаний и методической базы, происходит конвергенция наук и технологий, замечен серьезный прогресс в инструментари для проведения исследований. Все это может послужить самым надежным основанием для интеллектуального и экономического лидерства нашей страны в XXI веке. Знанием, как и любым материалом, нужно уметь пользоваться.

Борис ФАРМАКОВСКИЙ, к. т. н
Александр ПЫЛАЕВ



АО «ЦНИИМ»
г. Санкт-Петербург,
ул. Парадная, д. 8

ЦНИИ КМ «Прометей» – мощный научный центр – вот уже 80 лет работает на благо Отечества. Начав как броневая лаборатория еще до Великой Отечественной войны, ЦНИИ КМ «Прометей» в настоящее время – многопрофильный институт, лидер отечественного материаловедения.

Все советские, а затем и российские, надводные и подводные корабли изготовлены из сталей, сплавов, полимерных материалов, разработанных специалистами ЦНИИ КМ «Прометей». Институту посчастливилось, что в течение длительного времени в нем работал, а затем руководил выдающийся ученый и замечательный человек, академик РАН Игорь Васильевич Горынин. По его инициативе и под его руководством, кроме сталей для корпусов всех классов кораблей, в промышленности освоено производство крупных заготовок и деталей из титановых и алюминиевых сплавов; развернуты систематические исследования радиационной стойкости судовых сталей и сплавов; организовано произ-

водство легких кораблей из полимерных материалов; создан мощный исследовательский комплекс, оснащенный самым передовым современным оборудованием для изучения свойств и структуры материалов. И институт по праву теперь носит имя И. В. Горынина.

Конечно, И. В. Горынин был окружен целой плеядой талантливых ученых, многие из которых продолжают успешно работать в ЦНИИ КМ «Прометей».

Наш институт – Центральный научно-исследовательский институт материалов – давний коллега и партнер ЦНИИ КМ «Прометей». Если ЦНИИ КМ «Прометей» разрабатывал горячекатаные толстолистовые стали для корпусов кораблей с прочностью до 800 МПа, то специалисты нашего института разрабатывали стали для производства холоднокатанного листа с прочностью до 2000 МПа. Эти стали используются в ракетной технике и в настоящее время.

Хотя эти стали разной категории прочности и разного назначения, но фундаментальные принципы формирования структуры одни и те же, что всегда сближало ученых наших институтов. Аналогичные примеры могут быть приведены и для других материалов и технологий. Были случаи, когда происходил «обмен» учеными: специалисты ЦНИИ КМ «Прометей» переходили на работу в ЦНИИМ и наоборот.

Одним из важных направлений нашего сотрудничества является подготовка научных кадров. ЦНИИ КМ «Прометей» регулярно проводит конференции молодых ученых, в которых молодые специалисты ЦНИИМ принимают активное участие. При необходимости ЦНИИМ выступает в роли ведущего предприятия при защите кандидатских и докторских диссертаций сотрудниками ЦНИИ КМ «Прометей». Специалисты ЦНИИМ принимают активное участие в работе журнала «Вопросы материаловедения».

В заключение хотелось искренне поздравить весь коллектив ЦНИИ КМ «Прометей» им. И. В. Горынина с замечательным юбилеем, пожелать дальнейших творческих достижений, здоровья, благополучия и новых творческих идей!

Временный генеральный директор АО «ЦНИИМ»
Е. С. Иванова

Предприятие	Город	Страница
Атомстройэкспорт, инжиниринговая компания	Нижний Новгород, Москва	20, 21
Атомэнергопроект, АО	Москва	21
ВНИИ автоматики им. Н. Л. Духова, ФГУП	Москва	42
ГНЦ РФ ФЭИ им. А. И. Лейпунского, АО	Москва	19
Ижевский электромеханический завод «Купол», АО	Ижевск	34
НГТУ им. Р. Е. Алексеева, ФГБОУ ВО	Нижний Новгород	12
НИИИС им. Ю. Е. Седакова – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ	Нижний Новгород	21, 24, 46
НИЦ Курчатовский институт – ЦНИИ КМ «Прометей»	Санкт-Петербург	48
ОКБМ Африкантов, АО	Нижний Новгород	32, 37, 40,
Ростовский-на-Дону НИИ радиосвязи, ФНПЦ, ФГУП	Ростов-на-Дону	44
РФЯЦ–ВНИИЭФ, ФГУП	Саров	22, 27, 30,
Федеральное медико-биологическое агентство	Москва	10
Центральный НИИ материалов, АО	Санкт-Петербург	53



ADVERTISING-PUBLISHING CENTRE

**courier
media**

www.kuriermedia.ru

ЭКРА

СОХРАНЯЯ ЭНЕРГИЮ



На сайте: [www.ekra.ru](#)