

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»

40 ЛЕТ ФЕДЕРАЦИИ КОСМОНАВТИКИ РОССИИ

30 ЛЕТ СО ДНЯ ЗАПУСКА КОМПЛЕКСА «ЭНЕРГИЯ-БУРАН»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ
ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»

Учредитель: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТЕХНОМАШ»

И.о. генерального директора: В.В. Власюк
Первый заместитель генерального директора: И. С. Рубцов
Заместитель генерального директора по научной работе: А. В. Бараев

Редакционная коллегия:

О.Д. Бакланов
А.В. Бараев
Д.А. Муртазин
Д.В. Ковков
Ю.М. Должанский
Т.В. Наумов

Экспертная комиссия №1:

А.Н. Михайлов
К.Г. Данилова

Выпускающий редактор

Г.А. Аношкина

Научный редактор

В.Г. Бещеков

Верстка и дизайн

М.Е. Боброва
С.О. Брылёв

Отпечатано в ООО «Красногорский полиграфический комбинат»

На сайте ФГУП «НПО «Техномаш» <http://www.tmnpo.ru> в открытом доступе представлены:
электронная версия, содержание, аннотации и необходимая информация об авторах

Адрес: 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, дом 40, ФГУП «НПО «Техномаш»
Телефон: +7 (495) 689-95-04, факс: +7 (495) 689-73-45
E-mail: info@tmnpo.ru, web-site: <http://www.tmnpo.ru>

Тираж: не более 999 экз.



◆ УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Вашему вниманию представлен восьмой выпуск научно-технического бюллетеня «Вестник «НПО «Техномаш», в котором опубликованы итоги напряжённого творческого поиска, результаты длительных научных исследований и конструкторских разработок, выполненных учеными и специалистами нашего Предприятия в области наукоёмких технологий машиностроения. По традиции значительное внимание уделяется актуальным проблемам технологии заготовительного и сварочного производства, электроэрозионной обработки, технологии испытаний и неразрушающим методам контроля, вопросам технологического развития предприятий ракетно-космической отрасли.

15 ноября 1988 г. состоялся запуск ракеты-носителя «Энергия» с орбитальным кораблём-ракетопланом «Буран». К 30-летию этого события публикуется статья о технологическом обеспечении многоразовой космической системы «Энергия-Буран». Для её создания разработано и освоено свыше 300 принципиально новых технологий и около 1000 образцов уникального оборудования и средств технологического обеспечения.

Вопросы содействия развитию и внедрению отечественных наукоёмких космических технологий, научного, технического и интеллектуального потенциала российской космонавтики освещены в подборке статей к 40-летию Федерации космонавтики России, которая является российской общественной организацией в области космической деятельности, в состав членов Федерации Космонавтики России входит более 300 предприятий и организаций ракетно-космической отрасли России.

Сегодня можно с уверенностью сказать - Вестник «НПО «Техномаш» успешно выполняет свою миссию, впереди у него интересные планы и замыслы, и мы приложим все силы для его дальнейшего развития.



И.о. генерального директора ФГУП «НПО «Техномаш» В.В. Власюк



СОДЕРЖАНИЕ

◆ К 40-ЛЕТИЮ ФЕДЕРАЦИИ КОСМОНАВТИКИ РОССИИ

- Бардёнков В.В., вице-президент,
ответственный секретарь ФКР*
К 40-летию Федерации космонавтики России 3
- Макаревич Ю.Л., руководитель Пермского
регионального отделения ФКР*
К 40-летию Федерации космонавтики России 8
- Юнусов О.В., председатель Совета БРООО «ФКР»*
40-летие Федерации космонавтики России 10
- Центральный Совет Союза ветеранов
Космических войск России*
К 40-летию Федерации космонавтики России 11
- Шилович А.М.*
40-летие Федерации космонавтики России 12

◆ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Власов А.Д., Чернодод И.И., Корытин А.А.*
О решении проблемы паспортизации предприятий
Госкорпорации «Роскосмос» 14
- Цырклов А.В., Юрцев Е.С., Ермохин Е.А.*
Реализация элементов «Индустрии 4.0».
Проект цифрового звена производства 19
- Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А.*
Состояние и направления развития производственной
испытательной базы РКП 23

◆ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

- Кулик В.И., Чичков С.А., Илюшкин В.Ю., Сушко В.М.*
Специальные сварочные головки для орбитальной
сварки неповоротных стыков трубопроводов в ракетно-
космической отрасли. Головки открытого типа ГНС
для автоматической сварки НСТ из высокопрочных
сталей и алюминиевых сплавов 27
- Кулик В.И., Чичков С.А., Илюшкин В.Ю., Сушко В.М.*
Специальные сварочные головки для орбитальной
сварки неповоротных стыков трубопроводов в ракетно-
космической отрасли. История развития технологии
орбитальной сварки на предприятии 31
- Кулик В.И., Смирнов А.В., Щегольсков В.П.,
Смирнов А.Г., Степанов В.В.*
Тенденции развития современной аппаратуры для
управления циклом орбитальной сварки 34

◆ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Бецеков В.Г., Бараев А.В., Кулик В.И., Степанов В.В.,
Пильщик М.А., Бочаров Ю.А.*
Исследование методики сферодинамической
активации материала поверхностных слоёв деталей
металлокерамических узлов камер сгорания
двигательных установок
ракетно-космической техники 37
- Захаров М.А.*
Устройства и методы изготовления
скрученных участков волноводов 41

- Долгополов М.И., Корнилов В.А., Андреев М.Д.*
Компьютерное моделирование гибки труб с
узкозональным индукционным нагревом 44
- Емельянов В.В., Овечкин Л.М., Прусаков М.А.,
Захаров И.А., Вайцехович С.М.*
Изготовление осесимметричных оболочковых
деталей из биметаллов методом ротационной
вытяжки с принудительным утонением 47
- Н.С. Ларичев, А.О. Реутов, В.Г. Бецеков*
О возможности применения эффекта
сферодинамики в литейном производстве 50
- Ларичев Н.С.*
Устранение усадочных дефектов
методом распределения затруднённой усадки 52

◆ ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЙ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

- Кологов А.В., Новицкая К.А., Кулик Ю.П.,
Барышников В.И.*
Российские жидкостные межконтинентальные
баллистические ракеты – наш
асимметричный привет Пентагону 54
- Кологов А.В., Усов Г.Л.*
Моделирование краевых условий в системах
питания жидкостных ракетных двигателей 59
- Кологов А.В., Усов Г.Л.*
Методика анализа процессов захлаживания
системы питания жидкостного ракетного двигателя
и заправки топливного бака 62
- Кологов А.В., Усов Г.Л.*
Методика определения параметров
в газовых объёмах топливных баков
с использованием реакций диссоциации 65

◆ КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

- Камалдинов А.М., Аксенов Е.Г.*
Оборудование для контроля качества
бескорпусных двигателей 69

◆ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Белов И.И., Богданов К.А., Перепечкин А.А.*
Разработка оптимальных электрических
параметров процесса электроэрозионной обработки
с наложением внешнего ультразвукового поля 71

◆ СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ

- Поморцев П.М., Шломин М.А.*
Особенности совершенствования нормативного
обеспечения системы метрологического обеспечения
создания изделий ракетно-космической техники 76

◆ ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

- Чичварин В.Ф.*
Технологическое обеспечение многоцветной
космической системы «Энергия-Буран» 78

УДК 629.7

*Бардёнков В.В., вице-президент, ответственный секретарь ФКР***К 40-летию Федерации космонавтики России**

5 декабря 2018 г. исполняется 40 лет Федерации космонавтики России.

На самом ли деле это так? Человечество веками, тысячелетиями вглядывалось в звёздное небо, пытаясь понять, что там? Древние люди и астрономы более позднего времени хорошо изучили звёздный купол, наделили скопления небесных светил своими именами, придумали красивые легенды о их возникновении и взаимоотношениях. Но звёзды всё равно оставались далёкими и недоступными. И только в последние десятилетия человечество вплотную приблизилось к исполнению своей вековой мечты – прикоснуться к звёздам.

Этому немало способствовали идеи русского космизма, высказанные отечественными философами. Николай Фёдорович Фёдоров в XIX веке в своих работах заложил основы мировоззрения, способного открыть новые пути для понимания места и роли человека во Вселенной, развитые впоследствии Владимиром Ивановичем Вернадским. Передовые мыслители и в нашем Отечестве, и за его рубежами «заразили» идеями межпланетных полётов и путешествий к звёздам немало мечтателей. И сегодня задача популяризации достижений космонавтики и распространение знаний о Вселенной, об освоении и использовании космического пространства остаётся одной из определяющих в работе Федерации космонавтики России.

Широкая публика впервые узнала об идее космических полётов как о реальной возможности в 1920-х годах прошлого века из газетных сообщений американца Роберта Годдарда и румына Германа Оберта.

А задолго до этого, в конце XIX столетия русский революционер-народоволец Николай Кибальчич, приговорённый к смертной казни за убийство царя Александра II, за несколько дней до неё сделал первые наброски и расчёты ракетного летательного аппарата.

Примерно в то же время калужский преподаватель гимназии Константин Эдуардович Циолковский, страстный мечтатель и учёный-самоучка, впервые теоретически обосновывал принцип реактивного движения. В своих трудах он убедительно доказал, что единственным возможным двигателем для полёта в пустоте (космическом пространстве) является ракета и аргументировал возможность достижения ближайших к Земле небесных тел с

помощью «ракетных поездов», т.е. многоступенчатых ракет-носителей.

Бесценные идеи, гениальные мысли, сложнейшие математические расчёты изложили в своих работах по космоплаванию и ракетостроению выдающиеся наши соотечественники Фридрих Артурович Цандер и Юрий Васильевич Кондратюк (настоящее имя – Александр Игнатьевич Шаргей).

Идеи овладели массами. Повсеместно начали организовываться всевозможные секции и общества, ставившие своей целью полёты на Луну и к Марсу, читались лекции, проводились диспуты, издавалась масса околонуучных и просто фантастических брошюр. Трезво мыслящие мечтатели прекрасно понимали, что ни воздушный шар, ни дирижабль, ни самолёт с его маломощным поршневым двигателем для достижения других планет не пригодны. И поэтому взоры как мечтателей, так и реально мыслящих практиков космоплавания практически одновременно пали на ракету. В нашей стране научный и практический интерес к проблемам освоения космического пространства, наряду с работами К.Э. Циолковского, Ф.А. Цандера, Ю.В. Кондратюка, С.П. Королёва и других учёных, конструкторов, создателей и испытателей, вылился в создание ряда научно-технических общественных организаций.

Таким образом, Федерация космонавтики России возникла не на пустом месте. Вот этапы её большого пути.

1 марта 1921 г. – первая в СССР научно-исследовательская и опытно-конструкторская организация по ракетной технике, начавшая работы в Москве при военном ведомстве как лаборатория для разработки изобретений Н.И. Тихомирова, затем с 1928 г. – Газодинамическая лаборатория.

20 июня 1924 г. – Общество изучения межпланетных сообщений (председатель Г.М. Крамаров).

1931 г. – общественная организация при ОСОАВИАХИМе (Группа изучения реактивного движения) в Москве и Ленинграде, позднее в Баку, Тифлисе, Архангельске, Новочеркасске, Брянске и других городах.

14 июля 1932 г. – научно-исследовательская и опытно-конструкторская организация по разработке ракет и двигателей МосГИРД при отделе воздушного флота ОСОАВИАХИМа (начальником назначен С.П. Королёв).

16 января 1934 г. – «Стратосферный комитет» при ЦК ОСОАВИАХИМа СССР (председатель П.С. Дубенский).

9 января 1954 г. – секция Астронавтики СССР в составе ЦК ДОСААФ СССР при Центральном аэроклубе им. В.П. Чкалова (председатель Н.А. Варваров).



20 декабря 1968 г. по инициативе генерал-майора Жемчужина Николая Александровича и ветерана Великой Отечественной войны, ветерана космонавтики России, Героя Советского Союза, генерал-майора Чембровского Олега Александровича создан Всесоюзный комитет космонавтики СССР в составе ДОСААФ СССР.

5 декабря 1978 г. решением Бюро ЦК ДОСААФ СССР Всесоюзный комитет космонавтики ДОСААФ СССР (созданный в 1968 г.), преобразован в Федерацию космонавтики СССР (ФК СССР), с подчинением её Федерации авиационного спорта СССР, которая являлась одной из общественных структурных организаций ДОСААФ и прямого отношения к космонавтике не имела. Эта дата утверждена в качестве Дня образования Федерации космонавтики СССР–России. Председателем ФК СССР избран А.В. Филипченко.

17 января 1987 г. проведён первый съезд ФК СССР. На съезде заслушан доклад Председателя ФК СССР Н.Н. Рукавишника о деятельности ФК СССР с 1982 по 1986 гг., обсуждены и приняты Устав ФК СССР и отчёт ревизионной комиссии.

7 декабря 1991 г. состоялся Учредительный съезд Федерации космонавтики РСФСР (II съезд). Заслушав и обсудив доклад председателя Оргкомитета по образованию ФК РСФСР А.Г. Захарова, Учредительный съезд одобрил предложения делегатов по созданию Федерации космонавтики РСФСР и постановил:

- образовать Федерацию космонавтики РСФСР;
- утвердить предложенный проект Устава Федерации космонавтики РСФСР;
- избрать президентом ФК РСФСР дважды Героя Советского Союза, лётчика-космонавта СССР Рукавишника Николая Николаевича;
- избрать Президиум ФК РСФСР в количестве 67 человек;
- избрать Ревизионную комиссию ФК РСФСР в составе пяти человек и утвердить её председателем Романенко Александра Филипповича.

В соответствии с требованиями Федерального закона об общественных объединениях России **20 марта 1999 г.** в конференц-зале НПО «Техномаш» проведён III съезд Федерации космонавтики России. В связи с бо-



лезнью Н.Н. Рукавишника с отчётным докладом выступил первый вице-президент ФКР В.В. Савинский, избранный на эту должность на Пленуме ФКР **16 ноября 1998 г.** Президентом Федерации космонавтики России избраны единогласно Героя Советского Союза, лётчика-космонавта СССР, генерал-полковника Титова Германа Степановича.

В связи с безвременной кончиной Г.С. Титова (20.09.2000) встал вопрос о созыве IV внеочередного съезда Федерации космонавтики России по выборам Президента ФКР. Выборы Президента ФКР было решено провести на альтернативной основе.

IV внеочередной съезд состоялся **25 января 2001 г.** в конференц-зале НПО «Техномаш». На съезд прибыли делегаты из 23 регионов России от 180 организаций и комитетов космонавтики. Открыл съезд Первый вице-президент ФКР А.Д. Курланов, который кратко доложил о проведённой работе после III съезда ФКР. В качестве альтернативных кандидатов на замещение должности Президента ФКР баллотировались лётчики-космонавты В.В. Горбатко, В.А. Джанибеков, В.В. Ковалёнок.

По результатам подсчёта голосов Президентом ФКР избран Ковалёнок Владимир Васильевич.

17 февраля 2006 г. в большом зале Политехнического музея г. Москвы провёл свою работу V съезд ФКР.

Президентом ФКР единогласным решением избран В.В. Ковалёнок.

25 февраля 2011 г. в Доме культуры Российского государственного социального университета состоялся очередной VI съезд ФКР.

Президентом ФКР вновь избран лётчик-космонавт СССР, дважды Герой Советского Союза генерал-полковник авиации В.В. Ковалёнок.

Председатели Федерации космонавтики СССР и Президенты Федерации космонавтики России



А.В. Филипченко

Председатель ФК СССР
с 6 декабря 1978 г.
по 25 декабря 1980 г.



Н.Н. Рукавишников

Председатель ФК СССР
с 3 июля 1981 г. по 7 декабря
1991 г. Президент ФКР
с 7 декабря 1991 г.
по 20 марта 1999 г.



Г.С. Титов

Президент ФКР
с 20 марта 1999 г.
по 20 сентября 2000 г.



В.В. Ковалёнок

Президент ФКР
с 25 января 2001 г.

14 марта 2012 г. состоялся VII внеочередной съезд ФКР, который утвердил новую редакцию Устава ФКР.

VIII съезд ФКР прошёл **26 февраля 2016 г.** в Доме Культуры Московского энергетического института. В.В. Ковалёнок вновь избран Президентом ФКР.

В настоящее время ФКР представляет собой общественную структуру, состоящую из общественных организаций космонавтики.

Региональные и местные организации ФКР осуществляют свою деятельность в девяти Федеральных округах, в 45-ти регионах РФ, трёх странах СНГ (Беларусь, Казахстан, Украина). ФКР имеет своего представителя в Германии (Лоренц Хааг). Организации и комитеты космонавтики созданы на предприятиях и в организациях ракетно-космической отрасли, воинских частях, высших и средних специальных учебных заведениях, планетариях, музеях, при администрациях муниципальных образований. Кроме того, в состав ФКР входят ветеранские организации и другие добровольные общественные объединения граждан. Общее их количество составляет на данный момент более 310. Число членов ФКР (работающие специалисты и ветераны) свыше 315 тыс. человек. Центральный орган управления находится в Москве. Активно ведут работу наши региональные организации в Северо-Западном регионе, Республике Башкортостан, Пермском крае, Чувашской Республике, Поволжье и на Урале, в Новосибирске, Красноярском и Краснодарском краях, многих других городах России. Инициативу в работе проявляют вновь созданные организации в Крыму и Севастополе. Дейтельно работают по популяризации истории и достижений отечественной космонавтики МОО «Ветераны кос-



модрома Байконур», «Ветераны командно-измерительного комплекса», «Ветераны первых пилотируемых пусков». Неоценимый вклад вносят в пропаганду космических достижений и распространение знаний о Вселенной комитеты космонавтики и энтузиасты в школах и университетах, музеях и планетариях.

На протяжении сорока лет своего существования главными целями ФКР были и остаются:

- содействие реализации интересов России и сохранение её статуса ведущей космической державы в мировой космической деятельности;
- содействие сохранению и развитию научного, технического и интеллектуального потенциала Российской космонавтики;
- содействие развитию и внедрению отечественных наукоёмких космических технологий в другие отрасли народного хозяйства;
- содействие просвещению и профессиональной ориентации молодёжи в интересах космонавтики, развитию космического образования всех форм и уровней;
- содействие развитию и расширению международ-



ного сотрудничества в области космонавтики в интересах России;

- пропаганда достижений и распространение знаний об освоении и использовании космического пространства;
- осуществление социальной, моральной и материальной поддержки и защиты интересов ветеранов космонавтики;
- содействие реализации прав и законных интересов лиц, работающих в космической отрасли.

Работа по достижению перечисленных целей и есть суть мероприятий, проводимых ежегодно ФКР, её региональными отделениями.

Работая над достижениями поставленных целей, Федерация космонавтики России использует как хорошо зарекомендовавшие себя классические методы, так и относительно новые формы работы. В последние годы широко распространилась практика проведения различных кон-

курсов среди учащихся школ, по результатам которых победители награждаются призами, получают право и возможность присутствовать при пилотируемых запусках на космодроме Байконур. Призёрам конкурсов научно-технических работ, проводимых среди студентов высших учебных заведений, присваиваются звания лауреатов премий





им. К.Э. Циолковского, С.П. Королёва и М.К. Тихонравова. Под эгидой ФКР проходят разнообразные фестивали и конференции.

Пользуются невероятной популярностью ставшие традиционными научно-практические симпозиумы, посвящённые юбилейным датам в истории космонавтики.

ФКР сотрудничает с МДЦ «Артек» и ВДЦ «Орлёнок». Организуются и проводятся экскурсии школьников и студентов в Мемориальный музей космонавтики, Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Центр управления полётами, музеи предприятий и организаций космической отрасли.

Неординарным событием в работе Башкортостанского регионального отделения стало открытие в 2012 г. летней аэрокосмической школы, которой присвоено имя космонавта-испытателя СССР У.Н. Султанова.

В рамках патриотической акции «День памяти и скорби», проводимой под патронатом В.В. Ковалёнка, состоялись поездки школьников и студентов по маршруту Уфа – Москва – Брест (Республика Беларусь) – Уфа.

Не забыты в ФКР классические методы пропаганды истории и достижений отечественной космонавтики. Встречи, беседы, лекции, доклады, выступления непосредственных участников и свидетелей исторических свершений: учёных, испытателей, космонавтов, конструкторов, инженеров, военнослужащих, ветеранов отрасли – регулярно проходят в самых различных аудиториях, на которых из первых уст можно услышать рассказы о космических полётах, об особенностях устройства космических кораблей и станций, научных экспериментах и быте космонавтов на МКС и многом другом, что составляет романтику профессий, связанных с освоением космического пространства.

Осуществляя работу по популяризации космонавтики, ФКР не оставляет без своей заботы специалистов и ветеранов отрасли, в меру своих скромных возможностей ока-

зывая материальную помощь ветеранам, которым в силу их физического состояния она крайне необходима.

ФКР активно использует своё право, закреплённое в Уставе ФКР, учреждать различные знаки отличия и награждать ими передовиков производства, лучших специалистов и активистов предприятий и учреждений отрасли. По представлению организаций и комитетов космонавтики ФКР присваивает заслужившим почётные звания «Ветеран космонавтики России», «Заслуженный создатель космической техники», «Заслуженный испытатель космической техники», награждает своими орденами и медалями, грамотами и дипломами. Награды Федерации космонавтики России высоко ценятся специалистами как факт признания обществом их заслуг и трудового вклада в развитие космонавтики.

ФКР часто выступает с инициативой и поддерживает предложения общественности и организаций космонавтики об увековечивании памяти героев космоса. В 2016 г. одна из улиц микрорайона «Солнечная система» в г. Химки названа в честь космонавта Германа Титова. В Уфе, столице Башкортостана, трём школам присвоены имена дважды Героев Советского Союза космонавтов В.В. Горбатко, А.С. Иванченкова, В.В. Ковалёнка.

О своей работе и планах ФКР старается рассказывать в средствах массовой информации. Мы выпускаем «Вестник Федерации космонавтики России», создан и поддерживается официальный сайт www.fkrus.ru, материалы о деятельности ФКР размещаются в журналах «Новости космонавтики», «Российский космос», проводит свои заседания Научно-технический совет ФКР.

Работа ФКР ведётся во взаимодействии с Государственной корпорацией по космической деятельности «Роскосмос». Вместе с тем стоит отметить, что деятельность ФКР была бы невозможна без помощи наших партнёров как организаций, так и отдельных лиц.

Хочется выразить огромную искреннюю благодарность руководству и коллективам ФГУП «НПО «Техномаш»



им. С.А. Афанасьева, СПАО «Ингосстрах», НИУ «Московский энергетический институт», Российского государственного социального университета, Мемориального музея космонавтики, Центра подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, Центра управления полётами, многих других предприятий космической отрасли, командованию Космическими войсками.

От имени Президиума Федерации космонавтики России сердечно поздравляю всех тех, кому небезразлична судьба отечественной космонавтики, всех, кто приближает тысячелетнюю мечту человечества дотронуться до звёзд, кто неустанно трудится над тем, чтобы наше Отечество оставалось великой космической державой.

УДК 629.7

Макаревич Ю.Л., руководитель Пермского регионального отделения ФКР

К 40-летию Федерации космонавтики России

В декабре 1998 г. по рекомендации ФКР инициативная группа руководителей пермских оборонных предприятий и организаций (М. Соколовский, Ю. Макаревич, В. Гапаненко, Ю. Отделённый (НПО «Искра»), М. Иванов, С. Агапов (ПЗМаш), А. Иноземцев («Авиадвигатель»), А. Поник (НИИПМ), Ю. Соколкин (ППИ), В. Трефилов (ПВКИУ), А. Субботин (52-я ракетная дивизия) вышла с предложением создать Пермское отделение ФКР). Пермское региональное отделение (ПРО) утверждено 20.03.1999 на III съезде ФКР и функционирует почти 20 лет.

Сегодня в состав ПРО ФКР входят многие предприятия и организации Пермского края: НПО «Искра», ПЗ «Машиностроитель», НИИ полимерных материалов, Уральский НИИ композиционных материалов, Камский филиал НПО «Энергомаш», Пермский научно-исследовательский технологический институт, Протон-ПМ, Пермский пороховой завод, Пермская научно-производственная приборостроительная компания, Пермский планетарий.

Активно работает пермская организация ветеранов космоса во главе с полковником запаса А. Григорьевым, которая



проводит различные встречи с выступлениями и докладами, пропагандируя заслуги отечественной космонавтики.

Много внимания уделяют патриотическому воспитанию молодёжи организаторы музея РВСН в ЗАТО «Звёздный», организуют встречи со школьниками и выпускниками.

Особо хочется отметить плодотворную работу Пермского планетария, который в 2018 г. отметил своё 50-летие. Работники планетария сумели удачно объединить работу с детьми не только районов города, но и других территорий Пермского края. Неслучайно коллектив Пермского планетария, возглавляемый Т. Балтиной, первым в России награждён медалью ФКР «За заслуги».

Заслуги ПРО ФКР и пермских оборонных предприятий нашли своё отражение в учреждении медалей ФКР: им. генерального конструктора НПО «Искра» Л.Н. Лаврова, им. генерального директора ПО «Искра» С.Ф. Сигаева, внёсших особый вклад в развитие ракетно-космической отрасли страны.

В 2003 г. по инициативе ПРО ФКР учреждён приз ФКР, который стал официальной российской наградой лучшим изобретателям на международных салонах инноваций и изобретений в Сеуле, Нюрнберге, Москве, Куала-Лумпуре, Севастополе.

На различных международных салонах изобретений вручаются медали ФКР лучшим новаторам в области ракетно-космических разработок: медали им. Ю.А. Гагарина, С.П. Королева, М.В. Келдыша «Наука, творчество, космонавтика XXI века», в конкурсах молодёжи медалью «Юный гагаринец» награждают ребят, увлечённых авиацией, космонавтикой, астрономией.

Советские и российские космонавты частые гости экспозиций пермских предприятий на Международных авиакосмических салонах в Жуковском. Среди них второй космонавт планеты Земля Г. Титов, дважды Герои Советского Союза П. Попович, В. Горбатко, В. Волинов, А. Леонов, В. Джанибеков, В. Ковалёнок, В. Савиных, В. Соловьёв, Герои Советского Союза И. Волк, А. Арцебарский, В. Зудов, М. Манаров, А. Березовой, Герои России П. Виноградов, А. Лазуткин, О. Новицкий, Ю. Лончаков, Ю. Усачёв и другие.

В разные годы Пермь посещали космонавты П. Беляев и А. Леонов, В. Лазарев, В. Севастьянов, Г. Титов, П. Попович и неоднократно Почётный гражданин города В. Савиных. Президент ФКР В. Ковалёнок в октябре 2005 г. с группой членов Президиума ФКР проводил в Перми выездное заседание бюро. В 2008 г. на 75-летие со дня рождения Л. Лаврова приезжали В. Ковалёнок и В. Горбатко, которые присутствовали на открытии стелы на шоссе Кос-

монавтов с символическим названием «Дорога в космос начинается на Земле».

В 2013 г. в Перми прошло выездное бюро Президиума ФКР с участием В. Ковалёнка, В. Зудова, О. Новицкого, В. Благова, В. Бардёнкова, В. Склярской. Члены делегации посетили ряд пермских оборонных предприятий, Пермский Политех, Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, руководимый профессором С. Сухановым. В санатории «Демидково» провели встречу с отдыхающими, рассказали о новостях отечественной космонавтики.

В декабре 2015 г. пермское НПО «Искра» отмечало 60-летие со дня основания. Среди гостей предприятия был космонавт, дважды Герой Советского Союза А. Иванченков, а с орбиты коллектив НПО «Искра» поздравили космонавты О. Кононенко, М. Корниенко и С. Волков.

На протяжении многих лет в Перми проходит межрегиональный фестиваль военно-патриотических теле- и радиопрограмм «Щит России». Военно-патриотическое воспитание – одно из основных направлений деятельности Федерации космонавтики, и именно потому ПРО ФКР ежегодно принимает участие в фестивале, а его лауреаты неоднократно награждались медалями ФКР.

В Перми помнят и чтут память всех, кто создавал ракетно-космическую технику и прославлял отечественный космос, никогда не забывая о подрастающем поколении и ветеранах отрасли.

В августе 2018 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Сергея Александровича Афанасьева – первого «ракетного» министра общего машиностроения СССР, дважды Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской и Государственной премий СССР. В 1941–1946 гг. Сергей Александрович жил в Перми (тогда – г. Молотов) и работал на заводе №172, где получил свою первую награду за самоотверженный труд – орден Красной Звезды.

19 ноября 2018 г. в профессиональный праздник – День ракетных войск и артиллерии – в Перми состоялось открытие памятной мемориальной доски Сергею Александровичу Афанасьеву.



УДК 629.7

*Юнусов О.В., председатель Совета БРООО «ФКР»***40-летие Федерации космонавтики России**

История Федерации космонавтики России уходит в далёкие 20-е гг. начала XX века, когда на заре космонавтики начали реализовываться идеи наших учёных.

Весь мир, затаив дыхание, смотрел на успехи СССР в деле освоения космоса. Теперь, когда пройден большой путь, мы можем смело сказать – это был путь Великой страны. Но жизнь продолжается, и Россия продолжает славные традиции космонавтики. Во многом этому способствует деятельность ФКР.

Важно отметить, что ФКР действует неформально, оказывая реальную помощь в воспитании школьников, студенческой молодёжи, в вопросах реабилитации космонавтов после полетов, работе с ветеранами, а также многих других делах. По всей стране в единой команде работают филиалы ФКР.

Мы горды тем, что Башкортостанское региональное отделение ФКР также внесло свою лепту в укреплении авторитета организации. Наше отделение ФКР создано 1 июня 2010 г. моряками-ветеранами 5-й Тихоокеанской Океанографической Экспедиции, которая обеспечивала запуск пилотируемых космических кораблей.

За прошедший период организованы:

1. Поездка на Байконур на юбилейный запуск в честь 50-летия полета первого человека в космос, которая стала одним из самых ярких событий в Башкортостане. В ней приняли участие 130 школьников и студентов со всей республики.

2. В 2011–2012 гг. в рамках программы мероприятий регионального отделения, проведена акция «Мой космический старт!» и организована поездка в Москву для башкирских школьников и студентов с посещением Мемориального музея космонавтики, Центра управления полетами, Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина.

3. В рамках патриотической акции «День памяти и скорби», проводимой под патронатом Президента ФКР Владимира Васильевича Ковалёнка, в июне 2013 г. состоялась первая поездка школьников и студентов республики по маршруту Уфа – Москва – Брест (Республика Беларусь) – Уфа.

4. В 2012 г. ярким событием в работе регионального отделения стало открытие 1-й летней аэрокосмической школы, организованной совместно с Уфимским государственным авиационным техническим университетом при финансовой и организационной поддержке Вячеслава Аб-

рощенко – члена попечительского совета регионального отделения ФКР. В текущем году проведена уже 7-я Аэрокосмическая школа, которая теперь носит имя космонавта-испытателя СССР У.Н. Султанова.

5. Одним из главных проектов Регионального отделения «Виктори», проводимых совместно с автономной некоммерческой организацией «Общественный комитет по развитию и поддержке образовательных проектов в Республике Башкортостан», стала Республиканская олимпиада школьников на Кубок имени Ю.А. Гагарина. Начиная с 2011 г., олимпиада проводится для учащихся 1–8 классов по 11 дисциплинам: математика, физика, информатика, русский язык, литература, окружающий мир, биология, история, география, иностранные языки, физическая культура и музыка. Данная олимпиада на сегодня самая популярная среди всех олимпиад и конкурсов, проводимых в Республике Башкортостан. Цель проекта – ранняя профориентационная работа, направленная на мотивацию школьников к поступлению в технические и военные вузы страны. За прошедшие годы в олимпиаде приняли участие более 500 тысяч школьников Республики Башкортостан.

6. Завершается олимпиада республиканским детско-юношеским фестивалем «Гагаринские дни в Уфе». Этот фестиваль – комплекс различных встреч легендарных советских и российских космонавтов, спортсменов, ярких представителей науки, культуры и искусства, видных военачальников, конструкторов, общественных и политических деятелей Российской Федерации и Республики Башкортостан с одаренными детьми – юными патриотами своей большой и малой Родины. Основное мероприятие – «Мы гагаринцы» – специальная общественно-значимая церемония торжественного награждения победителей республиканской олимпиады школьников на Кубок имени Ю.А. Гагарина.

Мы и впредь будем делать все возможное для реализации наших общих целей и задач. Хочется поблагодарить лично Владимира Васильевича Ковалёнка, администрацию ФКР за помощь, поддержку и содействие в реализации наших проектов и мероприятий. ФКР является для нас, флагом нашего корабля. Пусть наше дело и впредь приносит пользу России и будет продолжено нашими детьми.

УДК 629.7

*Центральный Совет Союза ветеранов Космических войск России***К 40-летию Федерации космонавтики России**

5 декабря 2018 г. исполнилось 40 лет со дня создания Федерации космонавтики России (ФКР). В эти юбилейные дни стоит вспомнить тех, кто стоял у истоков её создания – лётчики-космонавты Филипченко А.В., Рукавишников Н.Н., Титов Г.С. Коваленок В.В.

ФКР играет особую роль в деле патриотического воспитания молодёжи. Регионы нашей многонациональной страны используют платформу ФКР для осуществления научных молодёжных программ. Республика Татарстан ежегодно осуществляет проведение на базе Казанского госуниверситета конференций «Космическая наука для молодёжи», приглашая ведущих учёных, специалистов авиационно-космических отраслей, лётчиков-космонавтов и профессиональных военных. Это является огромным стимулом для учащихся и студентов республики. Возможно, многие из них в дальнейшем пополнят ряды Королёвых и Гагариных.

Сегодня ФКР решает важную задачу – поддержание в непростых политических и экономических условиях ветеранских организаций ракетно-космической отрасли и ветеранов военной службы ВКС России. В этой связи хочется отметить личное участие руководителей и сотрудников ФКР в организации и проведении массовых мероприятий, посвящённых юбилейным датам Российской космонавтики, таких как симпозиумы, встречи экипажей пилотируемых космических кораблей, научные конференции и т.д. Особая благодарность от ветеранов, отдавших свою жизнь становлению достижений в области освоения космоса.

Одной из важнейших задач укрепления обороноспособности нашей страны в те годы было достижение паритета с США в области ракетно-ядерного оружия. Ценой значительных усилий СССР эта задача к середине 1970 гг. была выполнена. Другим важным шагом руководства и правительства страны стало решение о создании Космических войск.

Сегодня мы, ветераны, подчёркиваем, что новые шаги Пентагона по созданию структуры шестого вида ВС США – Космических сил обязывают нас внимательно не только отслеживать «новые взгляды» наших так называемых союзников по совместным исследованиям космоса, но и осуществлять упреждающие шаги, чтобы мировое сообщество отчётливо понимало опасность таких намерений. К сожалению, это не фантастика, т.к. если к 2020 г., как мечтают наши заокеанские коллеги, космос станет полем боя, то это опасный шаг к уничтожению всей нашей цивилизации. В сложив-

шихся условиях ФКР необходимо повысить значимость своей деятельности по разъяснению наших и зарубежных позиций по космосу, повысить бдительность, чтобы нашу страну и мир не застали врасплох создание и использование новых видов космического оружия.

20 марта 1999 года состоялся III съезд ФКР, на котором Президентом общественной организации единогласно избран Герой Советского Союза, лётчик-космонавт СССР, генерал-полковник авиации Титов Герман Степанович. Многие, служившие в те годы в ВС, в частности в космических войсках, с особой теплотой вспоминают третьего Президента ФКР, внёсшего вклад в содействие реализации интересов России, по сохранению её статуса ведущей космической державы в мировой космической деятельности, не говоря уже об использовании открытий космонавтики в укреплении обороноспособности страны.

В начале 1959 г. руководство СССР приняло решение о подготовке человека к полёту в космос. Отбор кандидатов в космонавты вели среди военных лётчиков-истребителей. Так в отряд космонавтов попал и Титов. Однако Герман Степанович имел всего лишь двухгодичный опыт лётчика, (а он привык делать всё основательно и профессионально – такой характер), поэтому не сразу сам для себя всё решил.

Потом Титов вспоминал, что однажды из Москвы в их полк прибыла комиссия и предложила им летать на «каких-то ракетах и спутниках». Он пообещал подумать. «Хорошо, подумайте, – ответили ему. Понадобитесь – мы вас вызовем. Никому не говорите, о чём с вами беседовали. Через полгода старшего лейтенанта Титова зачислили в первый отряд космонавтов.

Он полетел в космос, когда ему исполнилось всего двадцать пять. Титов был и остаётся самым молодым космонавтом в истории пилотируемой космонавтики. В кругу друзей, говоря о дате своего рождения, он шутил, что у него их две: первая – 11 сентября 1935 г. и вторая – 6 августа 1961 г., когда он стал космонавтом. И добавлял, что появился на свет в день рождения двух известных людей: Феликса Дзержинского и Иосифа Кобзона...

Как и Гагарин, Титов был первопроходцем. Полёт его продолжался целые сутки. Он впервые в мире доказал возможность человека жить и работать в космическом пространстве. Ему пришлось на себе испытать, как это – работать и жить



в невесомости. Его полёт в космос оказался вторым по счёту, но во многом он был первым.

Герман Степанович всегда гордился тем, что его жизнь и военная служба связаны с главными направлениями покорения космического пространства

Он работал под руководством Сергея Павловича Королёва и вслед за Гагариным шагнул в космос. Пути его пересекались с прославленными академиком Анатолием Петровичем Александровым и Евгением Павловичем Велиховым, многими создателями и испытателями ракетно-космической техники. И, наверное, поэтому вся его жизнь была очень насыщенной и плодотворной. Будучи президентом Федерации космонавтики России, Герман Степанович знакомил с достижениями отечественной космонавтики молодёжь. Молодые люди испытывали волнение от одной только мысли – увидеть космические запуски; их глаза горели на Байконуре, куда они приезжали по программе Международного молодёжного проекта «Космические Колумбы».

Герман Степанович являлся председателем многих Госкомиссий по испытаниям космических систем, среди них орбитальная пилотируемая станция «Алмаз» и ракетаноситель «Зенит». Он часто повторял, что у испытателей нет права на ошибку, ценил их нелёгкий труд.

Как и в любой работе, были успехи и промахи. Его запомнил яркое высказывание: «Наказывают невиновных, награждают несчастных». Он очень хорошо понимал невинов-

ность тех, кого наказывали, и несчастье тех, кого награждали – все они делали одно дело и были связаны одними и теми же, порой непреодолимыми, обстоятельствами.

Вся жизнь Титова – постоянное стремление к познанию глубин науки, всего нового. Герман Степанович умел предвидеть бурное развитие космических технологий и высказывал много интересных идей о практическом применении космических систем и аппаратов, не говоря уже об использовании открытий космонавтики в укреплении обороноспособности страны. Именно в этой сфере он работал почти всю свою жизнь.

Герман Степанович был патриотом. Никогда ради конъюнктуры не ругал прошлое, в котором прошла большая часть его жизни. Всего себя он посвятил тому, чтобы у страны не перехватили космическую инициативу. Несмотря на трудности с финансированием в космонавтике, наши разработки в большинстве своём не уступали западным, а зачастую превосходили их. Титов знал, что космос – не только научно-техническая сфера, но и большая политика: упустим свои завоевания сегодня – ослабим завтрашние позиции России.

Центральный Совет общероссийского союза общественных объединений Союза ветеранов космических войск благодарит ФКР и лично Президента ФКР В.В. Коваленка, Первого заместителя В.И. Кузнецова за поддержку ветеранов ВКС России.

УДК 629.7

Шилович А.М.

40-летие Федерации космонавтики России

Юбилей – это прекрасный повод выразить общественное признание людям, вдохнувшим жизнь в идею объединения творцов самой передовой техники, обеспечивших возможность нашему государству первым в мире выйти за пределы атмосферы Земли; участникам космических полётов и труженикам космоса, в совершенстве освоивших мастерство управления и эксплуатации космических аппаратов.

Все они объединились в общественную организацию, которая выступает в роли представителей гражданского общества России, способствует распространению знаний об освоении и использовании космического пространства, оказывая содействие развитию дружественных связей и сотрудничества с многочисленными российскими и зарубежными общественными организациями космонавтики.

Речь идет о Федерации космонавтики России, которая за 40 лет своего существования объединила свыше

300 общественных организаций космонавтики на территориях более половины субъектов Российской Федерации.

Новая эра летописи началась с успешного запуска первого искусственного спутника планеты Земля 4 октября 1957 г. и одновременного создания Командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами – ныне Ордена Трудового Красного знамени, Ордена Октябрьской революции Главного испытательного космического центра имени Г. С. Титова – прославленного летчика-космонавта, Героя Советского Союза, генерал-полковника авиации, начинавшего свой, уже «земной», период космической деятельности в Главном центре.

В различное время многообразную работу Главного центра претворяли в жизнь выдающиеся организаторы: военные деятели, представители отечественной космонавтики, науки и техники. Наиболее известные имена всегда будут жить в па-



мяти сослуживцев и потомков, а героические дела покорителей космоса будут запечатлены в скрижалях прозы и поэзии, музыке, военных мемуарах, экспонатах музеев космонавтики и выставках – такие, как первые начальники-создатели Главного центра генералы Витрук А.А., Карась А.Г., Спица И.И., Стаценко И.Д., Шлыков Н.Ф.; лётчики-космонавты Титов Г.С., Кизим Л.Д. и Шаргин Ю.Г., инженеры-исследователи Миняйло Ю.Ф., Есипов Е.В., Лавриненко Ф.Ф., Плеханов В.И., Рыполов С.И., Щепеткин Г.П. и многие другие.

Они объединились и создали Межрегиональную общественную организацию «Ветераны Командно-измерительного комплекса», которая на протяжении 45 лет продолжает активное ветеранское движение, начатое в 1973 г. генерал-майором Спицей И.И. – первым председателем Совета ветеранской организации КИК. Весомый вклад в развитие МОО «Ветераны КИК» и его деятельность внесли в последующие годы полковники Покровский Б.А. и Антипов Н.И., генерал-майор Дохов М.Т., возглавлявшие Совет – высший выборный руководящий орган ветеранской организации.

5 декабря 1978 г. организация ветеранов КИК вошла в состав Комитета по космонавтике при ДОСААФ СССР, а в июле 1983 г. в состав Федерации космонавтики СССР на правах коллективного члена. В своей работе организация руководствовалась «Положением об организации ветеранов Командно-измерительного комплекса», утвержденным решением бюро Президиума ФК СССР 30 октября 1987 г. В 2000 г. Межрегиональная общественная организация (МОО) «Ветераны Командно-измерительного комплекса» подтвердила свое членство в составе Федерации космонавтики Российской Федерации на правах коллективного члена.

Память и традиции первопроходцев космоса уважают и чтут военнослужащие космических войск, военнослужащие Главного испытательного космического центра МО РФ им. Г.С. Титова, учащиеся кадетских классов и школьная молодежь городского округа Краснознаменск.

В разное время в КИК служили дважды Герой Советского Союза, лётчик-космонавт, генерал-полковник Кизим Л.Д. и Герой России, лётчик-космонавт, полковник Шаргин Ю.Г.

Особую гордость вызывает тот факт, что в Командно-измерительном комплексе служил Герой Советского Союза, лётчик-космонавт Г.С. Титов, именем которого 14 августа 2001 г. Главный Центр и назван. Многие ветераны непосредственно работали под руководством Германа Степановича на благодатной космической ниве. Он постоянно уделял внимание работе Совета ветеранов в его работе, доброжелательно относился к оказанию помощи ветеранам в разрешении их социальных проблем.

В 1986 г. Совет ветеранов КИК за активную работу в пропаганде достижений отечественной космонавтики награжден дипломом Федерации космонавтики СССР.

Совет МОО «Ветераны КИК» осуществляет тесное взаимодействие с Федерацией космонавтики России. Некоторые ветераны КИК входят в руководство Федерации. Полковники Кузнецов В.И., Левенец И.М., подполковник Афанасьев В.Г. выполняют ответственную работу по взаимодействию и поддержанию ветеранских организаций. С их помощью творчески решаются вопросы научной деятельности и развития отечественной космонавтики с использованием знаний и опыта ветеранских научных кадров. Председатель Совета МОО «Ветераны КИК», полковник Шилович А.М. как член Президиума ФКР, регулярно участвует в заседаниях Бюро Президиума ФКР.

Ежегодно ветераны МОО «Ветераны КИК» принимают участие в проведении научно-практического симпозиума ФКР, посвящённого юбилейным датам текущего года в области отечественной космонавтики. В симпозиуме принимают участие лётчики-космонавты СССР и России, руководители предприятий и организаций РКП, представители Госкорпорации «Роскосмос» и ВКС, испытатели и создатели РКТ, ветераны космической отрасли.

Первое десятилетие и последующие два года XXI века отмечены юбилеями знаменательных событий в истории отечественной космонавтики – 50-летием полета первых ИСЗ, 50-летием полетов Ю.А. Гагарина и Г.С. Титова, А.Г. Николаева и П.Р. Поповича. Многие ветераны КИК принимали участие в мероприятиях, проводимых ФКР, Росавиакосмосом, Правительством Москвы, МОО «Ветераны космоса». Ветераны КИК, принимавшие непосредственное участие в обеспечении исторического полета Ю.А. Гагарина в составе боевых расчетов и активно участвующие в ветеранском движении, награждены медалями Федерации космонавтики России и получили денежные премии в размере 50000 рублей.

Только за последние 10 лет Советом ветеранов МОО «Ветераны КИК» отмечено более 1500 человек, из них грамотами и дипломами Федерации космонавтики России – 614 человек. Кроме того, по представлению Совета более 750 человек награждены орденами и медалями ФКР: им. С.П. Королева, К.Э. Циолковского, М.В. Келдыша, Ю.А. Гагарина, Г.С. Титова, В.П. Глушко, М.С. Рязанского, Г.Н. Бабакина и других выдающихся деятелей ракетно-космической отрасли. Почетное звание «Заслуженный создатель космической техники» присвоено семи ветеранам КИК.

По представлению Совета ветеранов КИК нуждающимся ветеранам оказывается материальная помощь попечительским советом ФКР

Историю покорителей космоса вершат люди. Творцы современной истории космонавтики, несомненно, внесут свой ощутимый вклад в дело покорения космоса, продолжая уже начатое и уважая традиции своих предшественников, основу которого заложили нынешние ветераны космоса и Командно-измерительного комплекса.

◆ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП

УДК 629.7:331

Власов А.Д., Чернодод И.И., Корытин А.А.

О решении проблемы паспортизации предприятий Госкорпорации «Роскосмос»

В статье рассмотрена проблема создания единой информационной базы данных отрасли. Описана основная цель, которая заключается в обеспечении информационно-аналитической поддержки подготовки управленческих решений для руководства отрасли. Рассмотрена структура паспорта предприятия. Описаны задачи, осуществляемые с применением паспортизации.

Ключевые слова: паспорт, паспортизация, ракетно-космическая отрасль.

Госкорпорация «Роскосмос» реализует Федеральную космическую программу 2016–2025, целью которой является обеспечение государственной политики в области космической деятельности на основе формирования и поддержания необходимого состава орбитальной группировки космических аппаратов, обеспечивающих предоставление услуг в интересах социально-экономической сферы, науки и международного сотрудничества, в том числе в целях защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также реализации пилотируемой программы, создания средств выведения и технических средств, создание на-

учно-технического задела для перспективных космических комплексов и систем.

Основные задачи и принципы осуществления данной программы представлены на рис. 1.

Для оценки деятельности предприятий ракетно-космической промышленности (РКП) в целях повышения эффективности использования основных средств, производственных, материальных, финансовых и кадровых ресурсов разрабатываются экономические и технические показатели.

Госкорпорация «Роскосмос» на основе анализа экономических показателей осуществляет контроль и коорди-

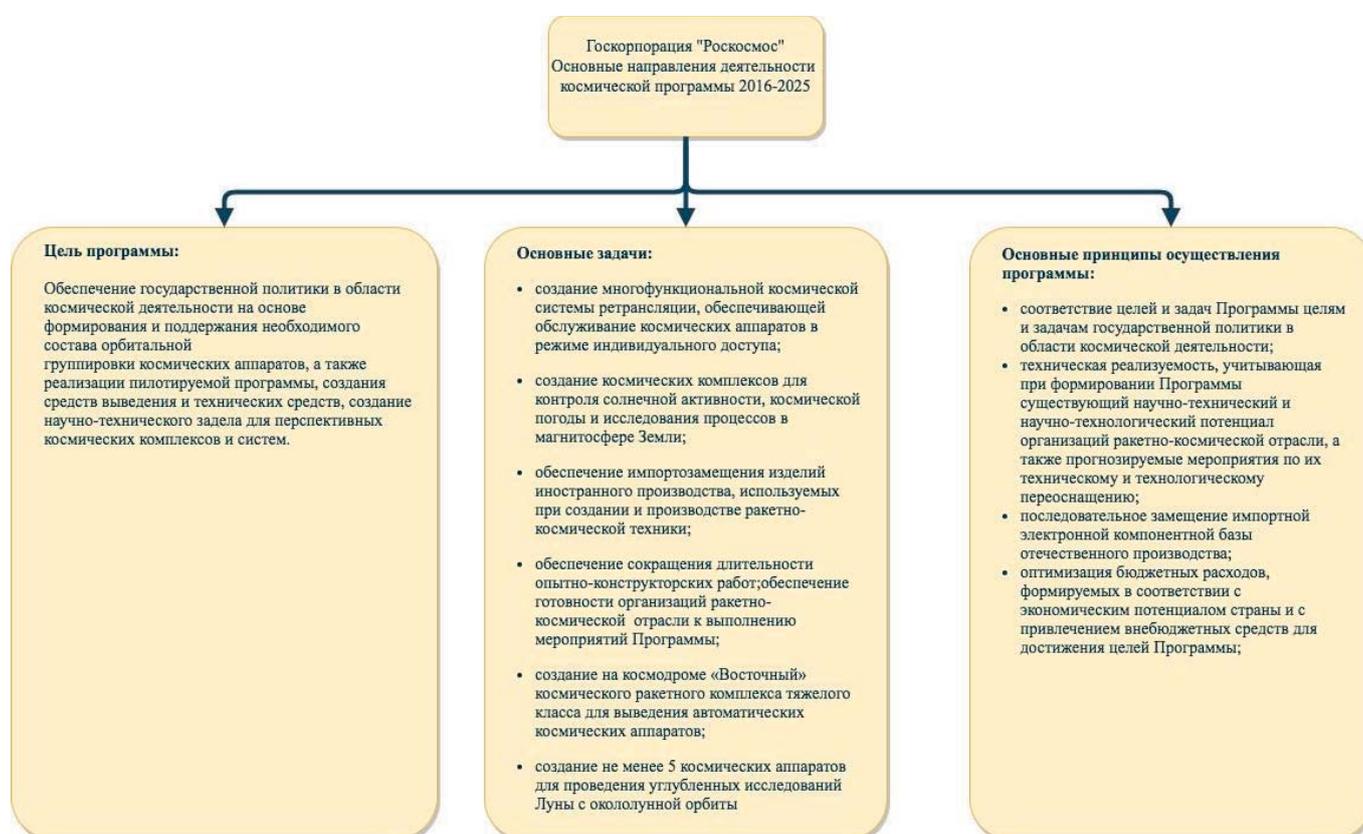


Рис.1. Схема основных направлений деятельности Госкорпорации «Роскосмос»

нацию использования государственного имущества, находящегося в хозяйственном ведении у предприятий, а также курирует деятельность подведомственных организаций и формирует корпоративную политику.

Для создания информационной основы проведения комплексного анализа предприятий РКП необходимо сформировать базу данных (БД) показателей, отражающих их деятельность. Информация, представленная в существующих формах отчётности и внутреннего учёта предприятий, не позволяет сделать выводы об эффективности деятельности исследуемых организаций и подробно рассмотреть отдельные аспекты их работы. В связи с этим необходимо внесение изменений в существующий Паспорт предприятия и проведение на его основе паспортизации.

Паспортизация предприятий представляет собой сбор, систематизацию, свод информации в электронной БД, на основе которой проводится анализ о деятельности и текущем состоянии организаций в соответствии с составленным перечнем первичных и расчётных показателей. Свод первичных параметров, сгруппированных по определённым признакам в виде тематических таблиц по различным областям деятельности, составляет Паспорт предприятия. Основная проблема заключается в создании единой информационной базы данных отрасли. Целью паспортизации является обеспечение информационно-аналитической поддержки подготовки управленческих решений для руководства отрасли.

История зарождения паспортизации

Федеральное агентство по промышленности в 2008 г. выпустило приказ от 08.05.2008 №213 «О проведении паспортизации предприятий и организаций, находящихся в сфере ведения и организации Роспрома», в котором говорится о необходимости создания паспортов предприятий в целях повышения эффективности использования основных средств, материальных, финансовых и кадровых ресурсов предприятий и организаций, находящихся в сфере ведения и координации Роспрома, включая принятие управленческих решений Роспрома по формированию проектов инвестиционных и инновационных программ, а также по созданию интегрированных структур в отраслях промышленности Роспрома.

Специалисты Роспрома разработали форму паспорта для получения информации о предприятиях, которую разослали на все предприятия Роспрома. После ее заполнения паспорта отправляли в электронном виде и на бумажных носителях во «ФГУП «ЦНИИ «Центр» – головное предприятие Роспрома по сбору и хранению паспортов. Затем проводились работы по организации ведения цент-

рализованной БД материалов паспортов предприятий и анализ материалов паспортов.

С 2009 г. паспортизацией предприятий стало заниматься Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, по аналогичному плану Роспрома, но с разработкой собственной формы паспорта.

С 1999 г. такая же работа велась и в ракетно-космической отрасли: выпускались информационные письма, в соответствии с которыми все организации отрасли представляли информацию во ФГУП «Агат» на бумажных носителях. Собранная информация не позволяла организовать системный анализ и обобщение для комплексной оценки деятельности предприятий, и в связи с этим, в 2016 г. начата работа по переходу на электронный вариант паспортизации. В формате MS Excel разработан новый шаблон Паспорта.

Для организации работы по его заполнению и дальнейшей автоматизированной обработке в 2017 г. вышел приказ от 15.03.2017 №69 «О проведении производственно-технологической паспортизации Госкорпорации «Роскосмос». За основу взяли форму паспорта Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, в которую внесли изменения в соответствии с требованиями Госкорпорации «Роскосмос».

Ответственным за паспортизацию предприятий назначено ФГУП «НПО «Техномаш», в обязанности которого вменялось актуализировать формы паспорта по требованию Госкорпорации «Роскосмос», вести централизованную базу паспортов, хранить полученную информацию и ежегодно представлять в Департамент ракетно-космической промышленности Госкорпорации «Роскосмос» аналитическую справку о состоянии производственно-технологического потенциала предприятий, а также» обеспечивать подготовку оперативной информации по данному вопросу.

Структура и основные параметры паспорта

Паспорт предприятия – это свод параметров, характеристик и данных, которые сгруппированы по определённым признакам в виде таблиц, охватывающих большое разнообразие областей деятельности.

Паспортизация – это процесс сбора и систематизации данных, полученных в виде паспортов от предприятий и организаций, относящихся к Госкорпорации «Роскосмос». На основе данных проводится анализ о деятельности и текущем состоянии предприятия. Паспортизация представляет собой некую систему, представленную на рис. 2.

При организации паспортизации организаций Госкорпорации «Роскосмос» по результатам деятельности

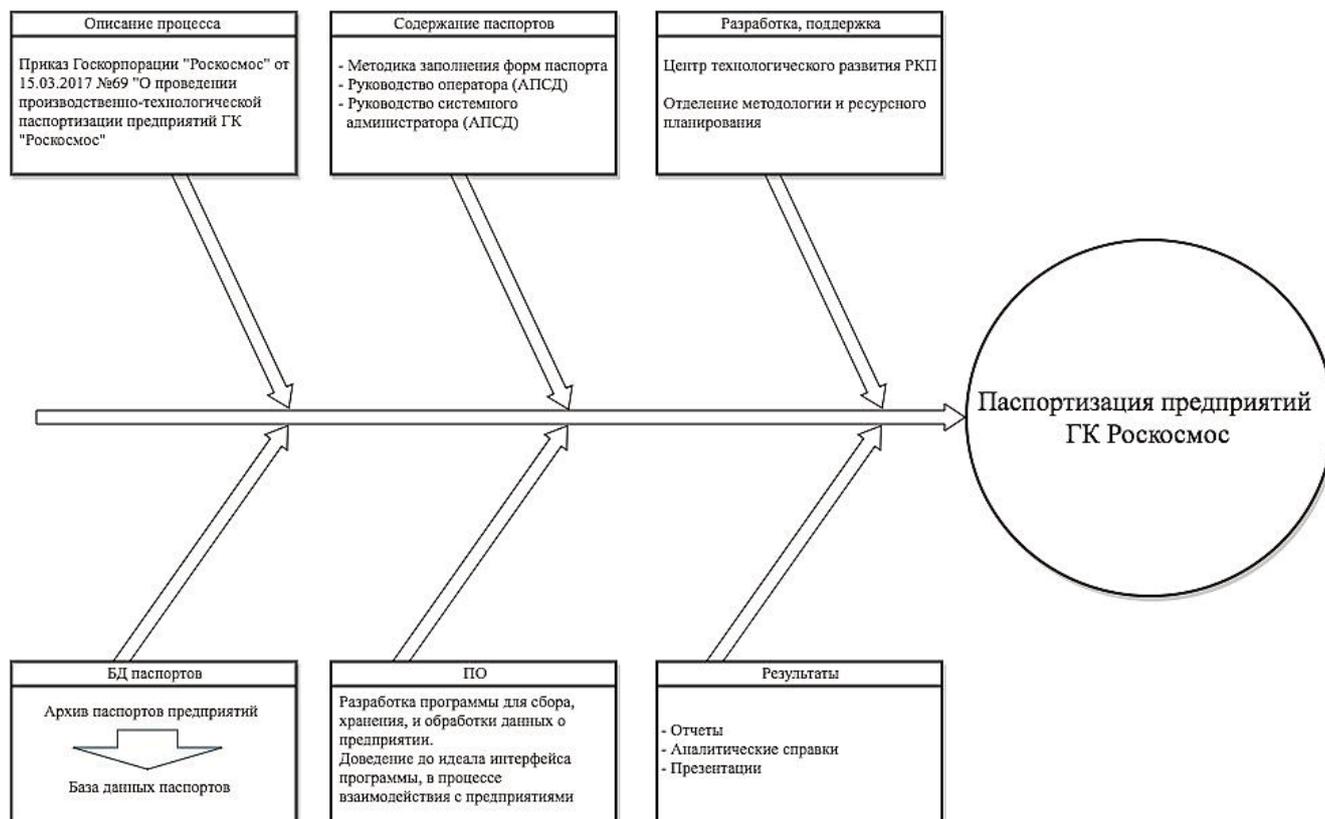


Рис. 2. Схематичное представление системы производственно-технологической паспортизации

за 2016 г. проведена работа по анализу ранее проводимой паспортизации в ракетно-космической промышленности, а также изучен опыт аналогичной работы, прово-

димой с 2008 года на предприятиях оборонно-промышленного комплекса, подведомственных Минпромторгу России

Таблица 1. Таблица разделов паспорта предприятий

Наименование разделов	Кол-во таблиц
I. Общая характеристика организации	12
II. Выполнение серийных поставок продукции	3
III. Выполнение НИОКР по спецпродукции	3
IV. Выполнение работ по продукции гражданского назначения	3
V. Выполнение работ по государственным контрактам	3
VI. Производственно-технологическая база	14
VII. Финансово-экономическая деятельность	8
VIII. Внешнеэкономическая деятельность	5
IX. Объекты недвижимости и земельные участки	11
X. Интеллектуальная собственность и нематериальные активы	6
XI. Персонал организации	9
XII. Сертификация и качество	3
XIII. Уровень автоматизации	7
XIV. Потребление ресурсов, энергосбережение и охрана окружающей среды	5
Итого:	92

Специалистами ФГУП «НПО «Техномаш» проведена большая работа, в результате которой разработана новая версия формы Паспорта предприятий Госкорпорации «Роскосмос». Разработанный Паспорт имеет 14 разделов, в которых находятся 92 таблицы. В табл. 1. представлены разделы паспортов и их наименования.

Задачи паспортизации

Паспортизация направлена на формирование единого централизованного корпоративного информационного ресурса, для чего необходимо вовлечение специалистов предприятий РКП, которые должны осуществлять начальное формирование и дальнейшее ведение (актуализацию) Паспортов в электронном виде в соответствии с организационно-распорядительными документами, методиками и правилами формирования и ведения первичной информации.

Задачами проведения паспортизации являются:

- организация на едином информационном ресурсе полных и достоверных показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятий ракетно-космической отрасли (РКО);
- создание информационной основы для оценки эффективности использования оборудования и принятия управленческих решений на различных уровнях менеджмента;
- представление сведений для оценки уровня текущего состояния технологического оборудования для планирования ремонтов, модернизации или замены на новое;
- обеспечение информационной поддержки для выработки единой политики по техническому развитию производственного потенциала предприятий РКО;
- создание информационной основы для моделирования и оптимизации производства и организации внутриотраслевой кооперации.

Описание процесса подготовки, хранения и использования данных

Для получения максимально полной и подробной информации о предприятии разработан шаблон Паспорта, который содержит все необходимые формы. Данный шаблон служит основой получения нужной информации, которая в будущем подвергнется анализу. Написана методика по заполнению форм Паспорта, где достаточно подробно описаны пояснения к каждой графе таблиц.

Также для паспортизации разработана автономная программа сбора данных (АПСД), которая предназначена для автоматизации деятельности организаций и предприятий по сбору информации на основе сведений разработанного и утверждённого Паспорта предприятия.

Автономная программа сбора данных обеспечивает в автоматизированном режиме сбор, обработку, хранение, поиск и представление в удобном для пользователя виде (бланк, таблица, выходной документ) данных, а также подготовку и выгрузку данных в заданных форматах и формах для загрузки в БД интегрируемых информационных ресурсов Госкорпорации «Роскосмос».

Для сбора, обработки, хранения, поиска и представления в удобном для пользователя виде сведений реализованы следующие функции:

- ввод и вывод информации в виде выходного документа;
- экспорт данных в заданном формате для последующего импорта информации в АПСД или макет комплекса программ ведения производственно-технологических паспортов;
- обеспечение возможности организации заполнения разных форм одного производственно-технологического паспорта организации в сетевом (многопользовательском) режиме.

Затем диск с предустановленным программным обеспечением (ПО) для заполнения паспорта и шаблоном рассылается по предприятиям, входящим в систему Госкорпорации «Роскосмос». Также на диске содержится методика по заполнению шаблона и форм паспорта в программе АПСД. Предприятия должны заполнить шаблон и все формы в программе и направить в адрес ФГУП «НПО «Техномаш».

В процессе заполнения таблиц Паспорта происходит взаимодействие с предприятиями РКП по уточнению (дополнению и корректировке) полученной информации (электронных паспортов).

После получения паспортов происходит их импорт в БД и формируется электронный архив документов.

На основе сформированной БД Паспортов предприятий и внедрения решения, обеспечивающего ее ведение (хранение и актуализацию), организовывается внедрение систем моделирования предприятия и внутриотраслевой кооперации, нацеленных на решение задач, связанных с оптимизацией производства.

Для организации хранения Паспортов предприятий создаётся БД Паспортов и электронный архив, которые в совокупности представляют банк данных Паспортов (БнД).

БД Паспортов представляет собой систему таблиц, которые содержат технико-экономические показатели предприятий и справочники, связанные с этими показателями.

Формирование БД Паспортов производится в два этапа.

На первом этапе производится формирование справочной информации путём импорта корпоративных справочников из существующих отраслевых информационных систем и формирование локальных справочников, созданных в рамках организации паспортизации предприятий.

Для корпоративных справочников разрабатывается механизм их обновления (актуализации), а для вновь разработанных справочников – порядок их ведения.

На втором этапе производится импорт данных из электронных Паспортов (таблиц MS Excel) с учётом сформированной справочной информации и правилами верификации данных. При формировании БД Паспортов, с использованием корпоративных справочников, обеспечивается однозначная идентификация предприятия, цеха и т.д., к которому относится каждая запись БД Паспортов. Кроме того, при формировании таблиц БД Паспортов обеспечивается связь между ними, которая определяется на этапе проектирования.

При формировании Паспортов предприятия, одновременно с электронными таблицами, представляют их бумажный (отсканированный) вариант, в котором каждая таблица подписана ответственным исполнителем от предприятия. Сканированные копии подписанных таблиц должны храниться в электронном архиве. Кроме сканированных таблиц в электронный архив документов должны поступать и другие неструктурированные данные. Примером таких данных являются графические файлы, связанные с Паспортом предприятия (ситуационные

планы, генеральные планы, организационные схемы и т.д.). Последовательность сбора данных представлена на рис. 3.

БД Паспортов должен удовлетворять следующим условиям:

- все таблицы и записи в таблицах БД являются уникальными, что исключает дублирование хранимой информации;
- информация, сформированная в БД, является полной, непротиворечивой и соответствует данным, которые содержатся в согласованных исполнителями формах Паспорта;
- все таблицы и записи в таблицах БД должны полностью отражать информацию, сформированную в Паспортах предприятий;
- организация эффективных методов поиска информации;
- обеспечение надёжности хранения информации;
- определение роли и полномочий по работе с информацией, содержащейся в БД.

На начальном этапе формирования БД Паспортов разрабатывается регламент резервного копирования, который обеспечивает надёжность и целостность формируемой информации.

На этапе организации коллективного доступа к БД Паспортов выполняется комплекс работ по информацион-



Рис. 3. Последовательность сбора данных о предприятиях

ной безопасности, который обеспечит защиту от несанкционированного доступа, защиту от утечки конфиденциальной информации, систему управления ролями и полномочиями, антивирусную защиту и т.д.

Перечень задач, для решения которых используются Паспорта

- Мероприятия по проведению паспортизации позволяют:
- сформировать электронную базу данных по основным показателям деятельности предприятий РКП, которая станет источником достоверных данных для принятия решений как по первичной информации, характеризующей деятельность организации, так и по производным комплексным показателям, рассчитанным для получения аналитических выводов о финансово-экономическом и техническом состоянии исследуемых предприятий;
 - создать систему мониторинга и актуализации показателей, определённых в Паспортах предприятий РКП;
 - классифицировать по степени значимости показатели деятельности предприятий для оценки эффективности их работы;
 - создать основу для проведения производственно-технологических обследований предприятия, внедрить новые методы оценки деятельности;
 - получить аналитические заключения о финансово-экономическом и техническом положении исследуемых предприятий и учреждений (представляются как сравнительный анализ по всем исследуемым объектам и отдельно по каждому предприятию);
 - организовать моделирование и оптимизацию производства;

УДК 658:621

Цырков А.В., Юрцев Е.С., Ермохин Е.А.

Реализация элементов «Индустрии 4.0». Проект цифрового звена производства

В работе рассмотрен способ построения программно-методического обеспечения цифрового звена производственной системы на нижнем уровне управления. Общий алгоритм управления строится на основе метода проектно-операционного управления потоком работ, что позволяет осуществлять консолидированное сопровождение процессов создания опытной и серийной продукции. Формируемый таким образом поток работ становится основой для построения цифрового двойника производства. Алгоритмы системы управления обеспечивают поставку данных для его наполнения.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, жизненный цикл, сложная техническая система, поток работ, цифровой двойник производства, метод проектно-операционного управления, *PLM, ERP, MES*.

Кратко цели и задачи концепции «Индустрия 4.0» в части решения вопросов по автоматизации и обмену данными в технологии производства показаны в [1], как и модель управления жизненным циклом на основе построе-

– создать информационную основу для организации внутриотраслевой кооперации.

Заключение

Благодаря шаблону Паспорта и разработанной в соответствии с настоящей концепцией программе АПСД, обеспечивается хранение и актуализация полученной информации, а также возможность анализировать данные, полученные в виде Паспортов от предприятий.

Разработки дадут возможность:

- создать в электронном виде единую базу данных Паспортов предприятий, отражающих технико-экономические показатели;
- организовать централизованную актуализацию Паспортов, исключая периодические корректировки и изменения в формах с последующей рассылкой обновлённых версий полного Паспорта;
- формировать аналитические отчёты для принятия управленческих решений при оптимизации затрат на модернизацию и техническое развитие предприятий РКО.

Список литературы

1. Булавкин В.В., Гончаров Е.А. Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Техномаш» 60 лет / Под ред. Булавкина В.В., Гончарова Е.А. М.: Политех, 1998. 354 с.
2. Зайцев О.Н. Экономическая устойчивость предприятия / О.Н. Зайцев // Экономическое возрождение России. 2006.

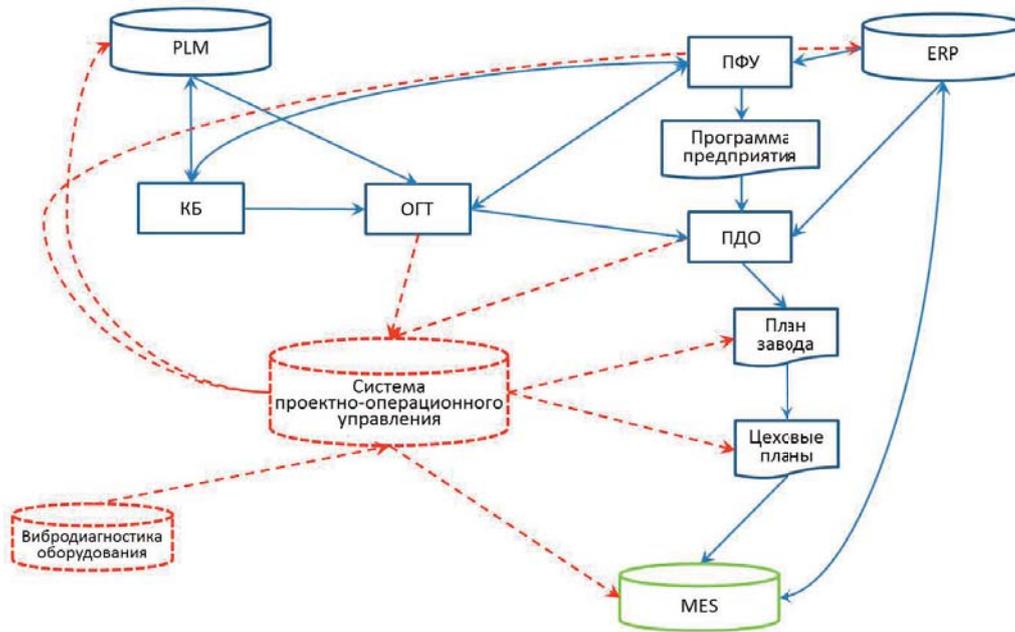


Рис. 1. Структурная схема системы управления производством

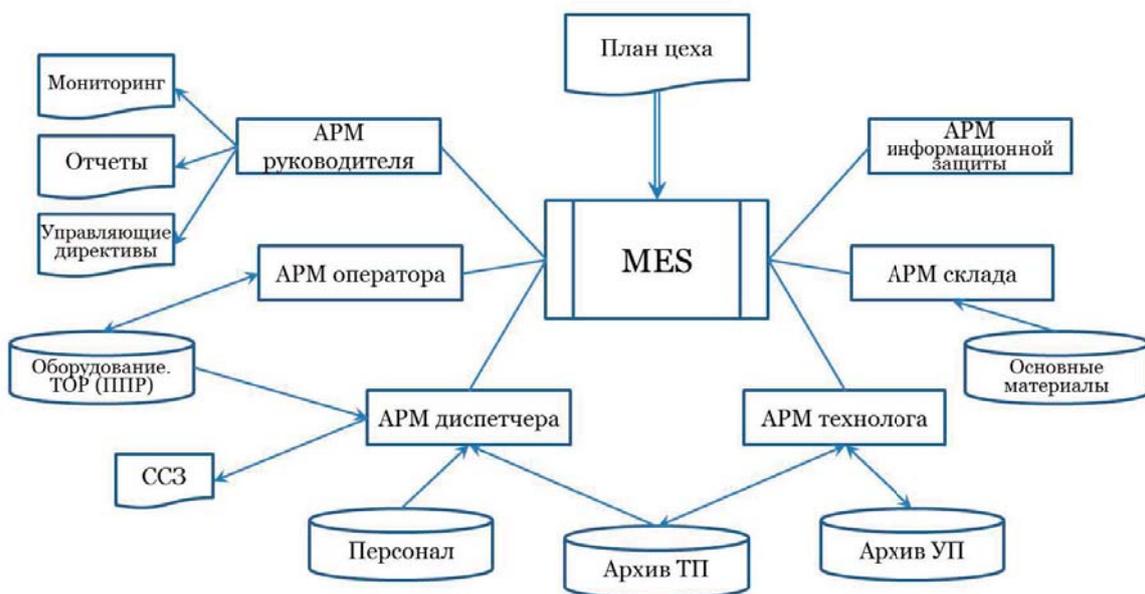


Рис. 2. Структурная схема исполнительной системы

реализация элементов концепции «Индустрии 4.0» в сфере управления производством. Например, задачей проекта «Разработка информационно-программных средств для автоматизации управления высокотехнологичным оборудованием в условиях цифрового машиностроительного производства», выполняемого совместно с МИРЭА, является построение цифрового звена нижнего уровня производственной системы. Конечно, формируемое решение во многом соответствует целям, традиционно реализуе-

мым *MES* (*manufacturing executable system*) системам, но по своей постановке и реализации, задачи опираются на технологии и модели киберфизических систем.

Общая структурная схема реализации системы управления производством приведена на рис. 1. На схеме показано, что метод ПОУ выполняет задачи обобщенного управления базовыми подразделениями машиностроительного предприятия в целом, включая потоки работ по службам планово-финансового управления (ПФУ), кон-

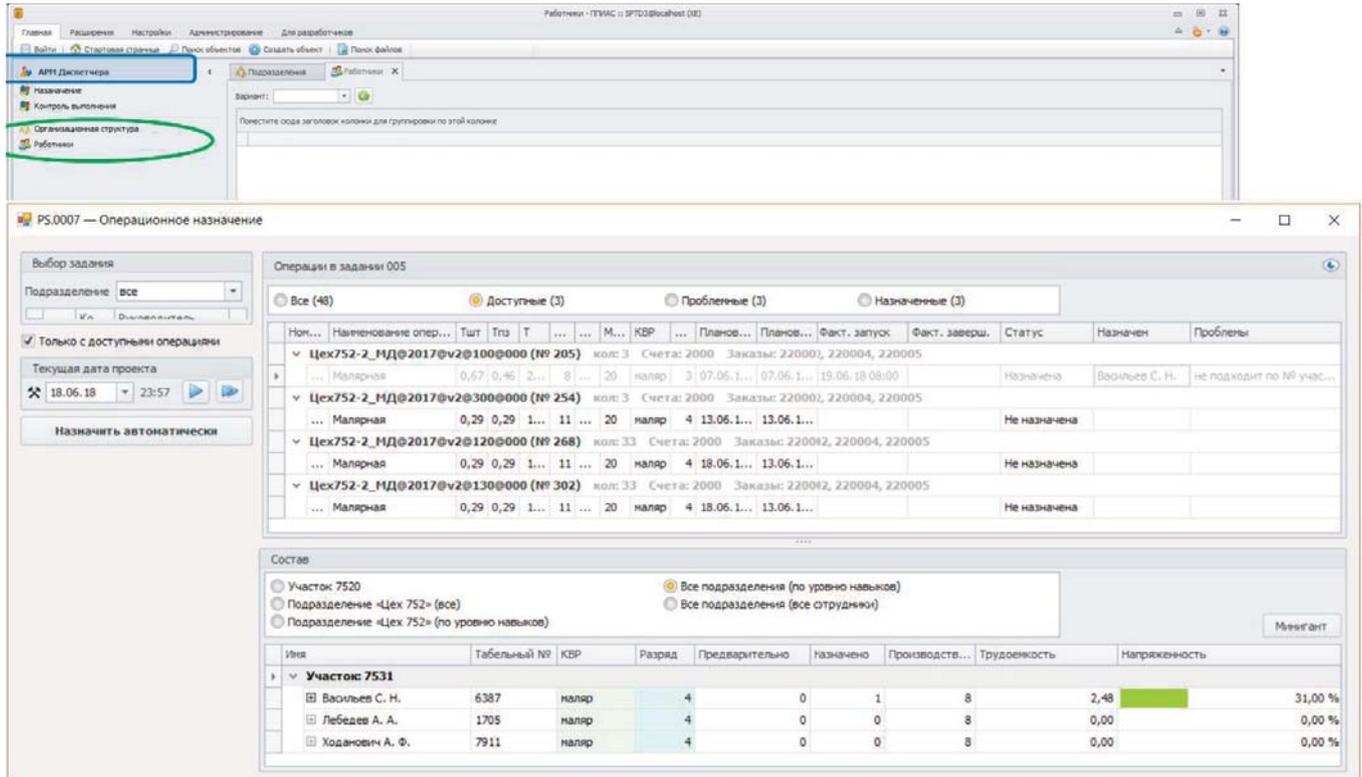


Рис. 3. Фрагменты экранного диалога АРМ диспетчера

структурских (КБ) и технологических (ОГТ) подразделений, планово-диспетчерской (ПДО) службы и производственным подразделениям. Исходя из этого, модель потока работ и особенности ее структуры в конкретных условиях проектно-производственной деятельности можно принять в качестве основы при построении модели цифрового двойника производства (ЦДП) [2]. Наполнение ЦДП может происходить при выполнении каких-либо действий участниками процессов.

Основной задачей проекта «Разработка информационно-программных средств для автоматизации управления высокотехнологичным оборудованием в условиях цифрового машиностроительного производства» является создание системы управления цехового уровня на программно-методических решениях, обеспечивающих, в том числе и решение задачи импортозамещения. Структурная схема исполнительной системы цехового уровня приведена на рис. 2. Базовыми элементами схемы являются функционально-ориентированные, автоматизированные рабочие места (АРМ) участников процесса: руководителя подразделения; диспетчера/мастера; технолога; оператора; логистика; специалиста по информационной защите (СИЗ). АРМы представляют механизмы, необходимые для реализации процессов:

1) АРМ диспетчера – основной задачей является определение времени и выдача производственных заданий на реализацию вспомогательных операций на АРМах оператора цехового склада, оператора инструментального участка, оператора транспортных устройств, логистика; АРМ мастера – дополняет действия диспетчера, контролируя подбор оборудования и специалистов при назначении на задания, а также подтверждение факта выполнения работ. Фрагменты экранного диалога АРМ диспетчера приведены на рис. 3;

2) АРМ логистика – основной задачей является обеспечение выполнения задания (ССЗ – сменно-суточного задания): перемещение материалов между инструментальным складом и рабочим местом; перемещение заготовок от одних рабочих мест к другим для выполнения следующих технологических операций; доставка заготовок с цехового склада к рабочему месту; доставка отработанных материалов (стружки) на утилизацию. Дополнительными функциями АРМ логистика/склада являются учет состояния товарно-материальных ценностей (ТМЦ) на местах:

- цеховой склад – заготовки, основные и вспомогательные материалы и ПКИ для выполнения технологических операций;
- инструментальный склад – инструментальные блоки и приспособления, а также прием отработанных инструментальных блоков и приспособлений;

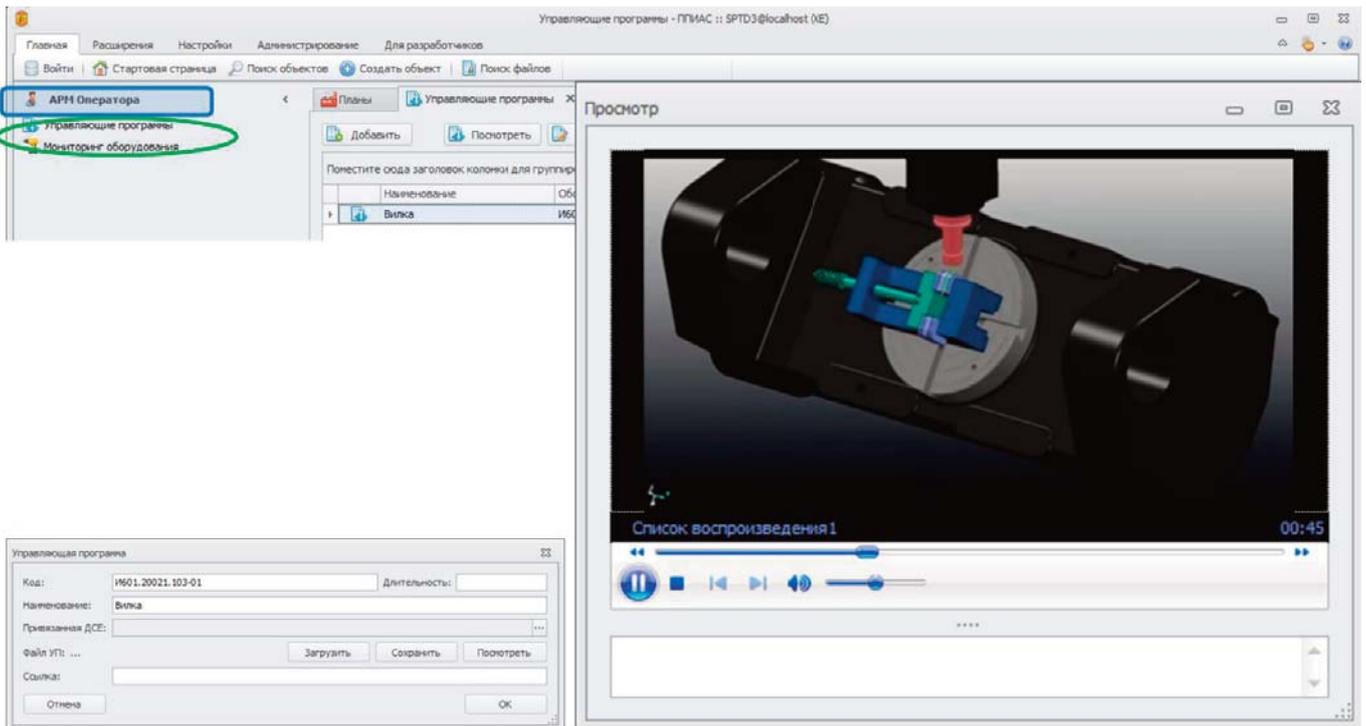


Рис. 4. Фрагменты экранного диалога АРМ оператора

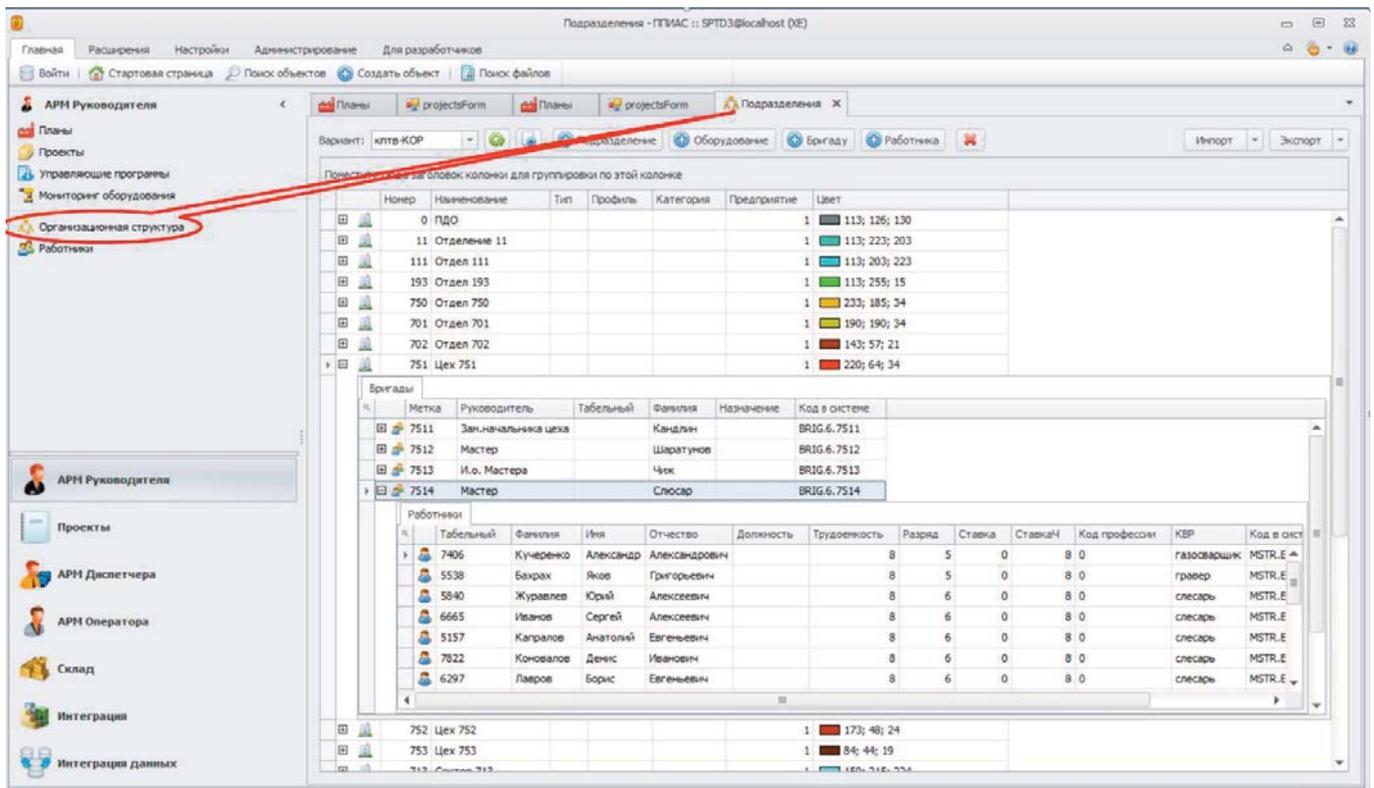


Рис. 5. АРМ руководителя. Просмотр организационной структуры

– транспортные устройства – для обеспечения доставки материалов и ПКИ для рабочего места оператора, определяя последовательность доставки материалов на транспортных устройствах;

3) АРМ оператора – основная задача – выполнение технологической операции, кроме того задачами оператора являются также контроль состояния оборудования; формирование и отработка запросов на решение возникающих ситуаций

(брак в процессе производства, требование недостающих вспомогательных материалов и т.п.). Фрагменты экранного диалога АРМ оператора приведены на рис. 4;

4) АРМ технолога решает задачи:

- разработка управляющих программ (УП), визуальный контроль УП и управление архивом УП;
- корректировка базовой технологии, поступающей из PLM комплекса, расчет и управление производственно-технологическими характеристиками (ПТХ);
- расчет объемов вспомогательных и сопутствующих материалов (СОЖ, инструменты для разметки, материалы, подлежащие удалению из рабочей зоны (стружка, использованные инструменты, приспособления и пр.);
- расчет установочного времени на выполнение вспомогательных операций, определение ёмкости и последовательность освобождения транспортных устройств;

5) АРМ руководителя обеспечивает возможность контроля и передачи управляющих указаний на любой элемент структуры подразделения. АРМ обеспечено средствами настройки интерфейса (рис. 5).

Система управления производством, основными алгоритмами которой являются алгоритмы ПОУ (рис. 1), консолидирует информацию из ERP и PLM комплексов и после преобразования направляет в виде следующих входных потоков в блок MES системы:

- производственный план (план подразделения);
- конструкторская и базовая технологическая (маршрутная карта разработанного технологического процесса) документация;
- основные материалы (заготовки, ПКИ, ...);

– приспособления и инструмент (инструментальные блоки);

– структура запросов по возможным «нештатным» ситуациям, возникающим в процессах (брак в процессе производства, требование недостающих вспомогательных материалов, ...).

Результаты выполнения процессов от АРМ MES системы передаются и фиксируются в ЦДП. В настоящее время отрабатываются механизмы сохранения следующих данных:

- идентификаторы исполнителя, оборудования, приспособлений и инструмента;
- запись рабочего технологического процесса;
- идентификаторы заготовки и детали;
- брак;
- стружка, отработанный материал;
- сопровождающая документация (сопроводительная карта, паспорт, ...);
- запросы и результаты решения возникших ситуаций;
- сигнал (временные характеристики) о завершении технологической операции.

Список литературы

1. Семенов В.В., Цырклов А.В., Юрцев Е.С. Индустрия 4.0. Новое в управлении жизненным циклом продукции. Вестник «НПО «Техномаш». 2018, №6.
2. Боровков, А.И. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А.И. Боровков, Ю.А. Рябов, К.В. Кукушкин, В.М. Марусева, В.Ю. Кулемин // Оборонная техника. 2018. № 1. С. 6–33.

УДК 629.78

Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А.

Состояние и направления развития производственной испытательной базы РКП

В статье рассматриваются мониторинг состояния и выявление «узких» мест производственной испытательной базы ракетно-космической промышленности. Сформулированы основные направления и пути решения проблемных вопросов ее технического состояния.

Ключевые слова: производственно-испытательная база, испытательное оборудование, метрологическое обеспечение.

Технической основой обеспечения производственных испытаний изделий ракетно-космической техники (РКТ) различного назначения, боевой ракетной техники (БРТ) является производственно-испытательная база (ПИБ) ракетно-космической промышленности (РКП) Российской Федерации [1–3]. Производственные испытания являются

неотъемлемой частью обеспечения качества и надёжности БРТ и РКТ на этапах их серийного и опытного производства. Стоимость производственных испытаний может составлять до 15–25% в общей стоимости производства изделий. Поэтому мониторинг состояния и определение направлений перспективного развития ПИБ являются

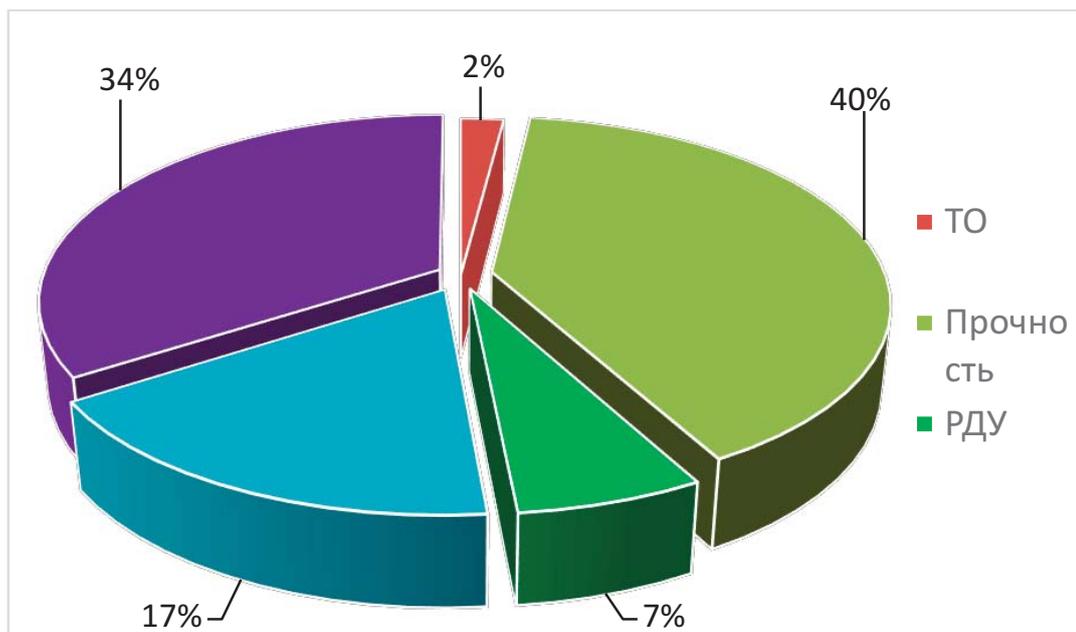


Рис. 1. Распределение испытательных установок и стендов ПИБ РКП по направлениям испытаний

актуальной задачей для решения проблем качества, надёжности и стоимости производимой БРТ и РКТ [1–6].

ПИБ РКП сосредоточена на 20 промышленных предприятиях и заводах, серийно выпускающих изделия РКТ различного назначения и БРТ или их элементы и системы, а также на 15 предприятиях-разработчиках и одновременно изготовителях узлов и агрегатов (гироскопических стабилизаторов, блоков датчиков, автономных источников электропитания, приборов для ориентации космических аппаратов (КА), аппаратуры систем управления наземным технологическим оборудованием и др.) основных систем изделий РКТ различного назначения и БРТ.

Испытательное оборудование таких предприятий – стенды (установки для проведения прочностных испытаний, климатические камеры, ударные и вибрационные стенды, газо- и гидродинамические стенды, стенды для испытаний жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), жидкостных ракетных двигательных установок (ЖРДУ) ракетносителей (РН), КА и разгонных блоков (РБ) для испытаний узлов и агрегатов РКТ и БРТ на воздействие внешних и внутренних факторов (температурных и механических), которые используются для подтверждения требований конструкторской и технологической документации на изготавливаемые узлы и агрегаты. При этом комплексные функциональные испытания узлов и агрегаты проходят в составе основных систем изделий на головных предприятиях-разработчиках РКТ различного назначения, а также при приёмо-сдаточных испытаниях изделий РКТ различного назначения и БРТ.

ПИБ РКП содержит более 600 единиц испытательных стендов и установок, учетная балансовая стоимость (остаточная стоимость в ценах текущих лет) которых по состоянию на начало 2017 г. составляет более 4,0 млрд руб. Численность специалистов ПИБ РКП составляет примерно 1,5 тыс. человек.

Распределение количества и учётной балансовой стоимости испытательных установок и стендов по видам испытаний представлено на рис. 1 и рис. 2:

- обработка тепловых режимов изделий – ТО;
- обработка прочности и динамических характеристик – Прочность;
- обработка ракетных двигателей и двигательных установок – РДУ;
- обработка бортовых систем и аппаратуры – БА;
- автономные и комплексные испытания на воздействие тепла, холода, давления, влаги, пыли, агрессивных сред, различных излучений – Климатические испытания.

На начало 2018 г. доля испытательного оборудования с возрастом до 10 лет составила 26%, что на 3% превышает аналогичный показатель по РКП. Возрастной состав стендового оборудования приведён на рис. 3. Показана основная проблемам ПИБ РКП – высокая степень износа основных фондов, что приводит к низкой производительности труда, увеличению стоимости и цикла испытаний, влияет на качество и надёжность создаваемых РКТ и БРТ.

Общетехнические и технологические системы, обеспечивающие функционирование испытательных средств,

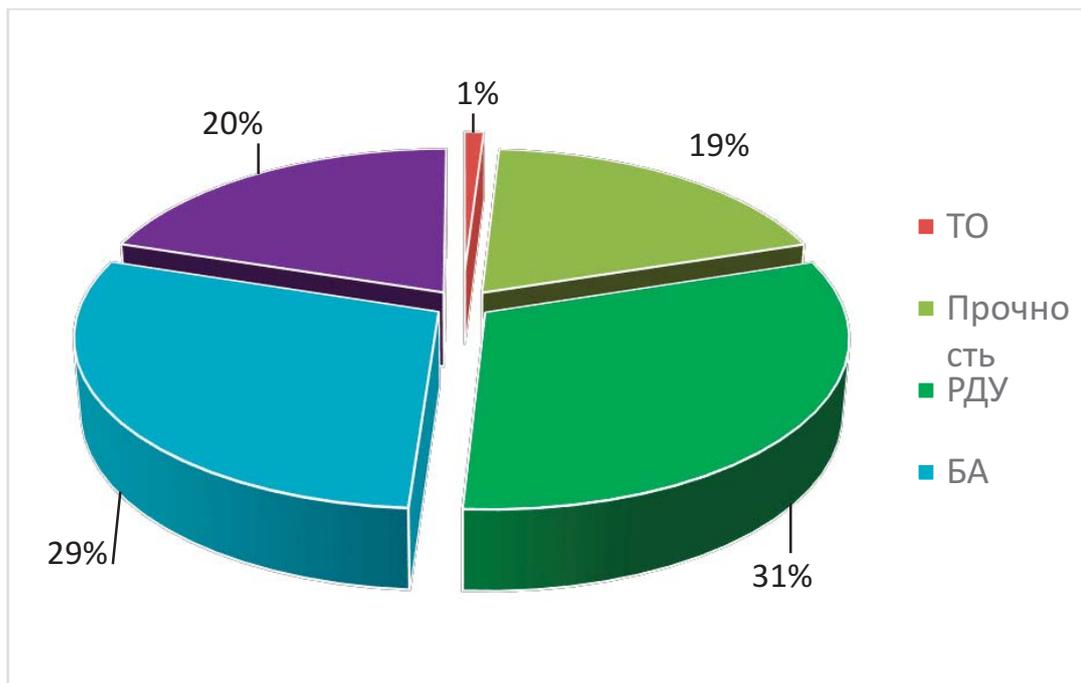


Рис. 2. Распределение учётной балансовой стоимости испытательных установок и стендов ПИБ РКП по направлениям испытаний

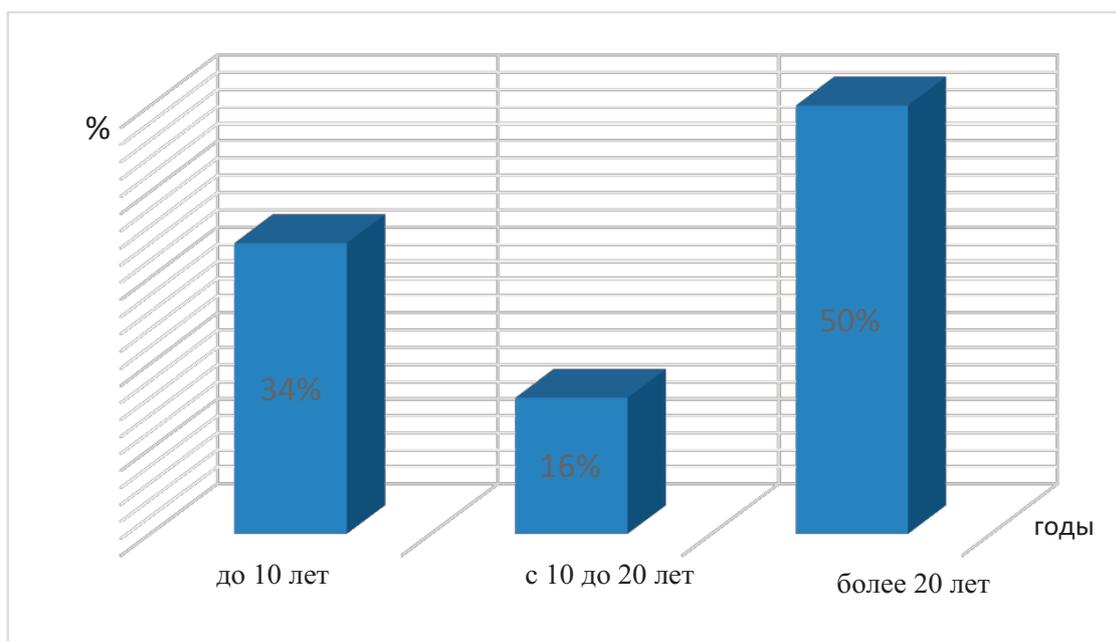


Рис. 3. Возрастной состав стендового оборудования

морально и физически устарели и требуют дооснащения, ремонта, замены, модернизации и реконструкции в целях расширения технических возможностей испытательных средств, увеличения количества измеряемых и обрабатываемых при проведении испытаний параметров и данных, а также поддержания технических характеристик стендов, установок и испытательных комплексов на требуемом уровне.

По номенклатуре испытательного оборудования ПИБ РКП соответствует лучшим испытательным центрам ведущих космических держав, однако в части измерительного, регистрирующего, обрабатывающего и управляющего оборудования, наметилась тенденция отставания от современного мирового уровня [2, 3]. Для метрологического обеспечения испытаний РКТ, БРТ и их составных частей на ПИБ РКП необходима модернизация суще-



ствующих и создание новых эталонов в целях обеспечения прослеживаемости единиц измерения к Государственным эталонам [1, 7].

Одной из первоочередных задач многоплановой проблемы совершенствования метрологического обеспечения является разработка научно-обоснованного рационального метрологического каталога производственных испытаний изделий отрасли. Каталог должен четко показывать потребности уровня измерений (объём, погрешность и др.) и «узкие» места измерений, препятствующие эффективному проведению и обеспечению требуемого качества испытаний. Он будет являться своеобразным метрологическим паспортом конкретного вида экспериментальных испытаний и позволит квалифицированно, планомерно, и с минимальными затратами совершенствовать по всей взаимосвязанной цепочке уровень измерений по каждому из направлений экспериментальных испытаний. Метрологический паспорт позволит создать оптимальную структуру парка измерительной техники, соответствующей передовым достижениям отечественной и зарубежной практики, определить рациональные объёмы автоматизации.

Техническое перевооружение и технологическая модернизация ПИБ РКП проводятся в рамках федеральных космических программ и государственных программ развития ОПК. На период до 2027 г. планируется около 20% бюджетных инвестиций от общего объёма бюджетного финансирования капитальных вложений РКП направить на реконструкцию и техническое перевооружение ПИБ. По промышленным базовым и критическим технологиям 11% НИОКР с общим объёмом бюджетного финансирования, составляющим более 14% от общего объёма финансирования технологических НИОКР в период 2018–2027 гг., направлены на технологическую модернизацию ПИБ РКП. Планируется к 2027 г. увеличить долю испытательного оборудования с возрастом до 10 лет до 45%, внедрить соответствующие мировому уровню методы и системы метрологического обеспечения ПИБ РКП.

Список литературы

1. Кузин А.И., Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Перспективы развития экспериментальной и испытательной баз производства изделий РКТ // Вестник «НПО «Техномаш». 2017, №4, С. 21–24.
2. Кондратенко А.Н., Паничкин Н.Г. Состояние и пути развития наземной экспериментальной отработки изделий РКТ // Сборник тезисов докладов на III ВНТК Измерения и испытания в ракетно-космической промышленности, 9–12 сентября 2013 г. дом отдыха Селигер, о. Городомля. С. 92–95.
3. Кондратенко А.Н., Паничкин Н.Г. Техническая база и метрологическое обеспечение испытаний изделий РКТ. Проблемы и направления развития // Сборник тезисов докладов на III ВНТК Измерения и испытания в ракетно-космической промышленности». 9–12 сентября 2013 г. дом отдыха Селигер, о. Городомля. С. 96–101.
4. Основы государственной политики в области развития оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу (утв. Указом Президента Российской Федерации 23.02.2016 №91).
5. Основы государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу (утв. Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2013 №Пр-906).
6. Система взглядов на осуществление Россией независимой космической деятельности со своей территории во всём спектре решаемых задач на период до 2040 года (одобрена Советом Безопасности Российской Федерации, апрель 2007 г).
7. Кондратенко А.Н., Лукьянчик В.В. Исследование вопросов совершенствования метрологического обеспечения ракетно-космической техники // Двойные технологии. 2014, № 4. С. 60–65.

♦ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

УДК 621.791.039+658.512.011.56:681.3

Кулик В.И., Чичков С.А., Илюшкин В.Ю., Сушко В.М.

Специальные сварочные головки для орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов в ракетно-космической отрасли. Головки открытого типа ГНС для автоматической сварки НСТ из высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов

Продолжение цикла статей о разработке технологии и специального оборудования для орбитальной сварки пневмогидросистем летательных аппаратов во ФГУП «НПО» Техномаш».

Представлен базовый типоразмерный ряд современных головок серии ГНС для орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов, показаны основные признаки и конструктивные особенности.

Ключевые слова: орбитальная сварка, аргодуговая сварка, TIG, сварочные головки открытого типа, автоматическая сварка.

С начала 2000-х гг. до настоящего времени разработаны новые современные сварочные головки различных типов для сварки трубопроводов из алюминиевых сплавов и высокопрочных стальных трубопроводов диаметром от 3 до 560 мм. В ходе создания новых образцов сварочных головок их конструкция и технические характеристики непрерывно совершенствуются, применяются новые конструкторские и технологические решения, новые материалы, модернизируется аппаратура управления и технология сварки различных типов и размеров неповоротных стыков. При решении задач соответствия требованиям предприятий отрасли к сварке новых изделий ракетно-космической техники (РКТ) используются лучшие технические решения из богатейшего конструкторско-технологического задела отделения технологии сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш». Конструкторы постоянно стремятся сделать головки легче, компактнее, технологичнее в изготовлении, надёжнее и проще в эксплуатации. При разработке нового оборудования для сварки неповоротных стыков трубопроводов (НСТ) необходимо учитывать технические требования:

- воспроизводимость всех технологических режимов процесса сварки;
- надёжность;
- модульность узлов сварочных головок (для трубопроводов диаметрами от 25 мм);
- стабильное обеспечение требуемого качества шва;
- использование современной элементной базы;
- простота в управлении и эксплуатации;
- компактность, минимизация габаритов;
- современный дизайн.

Рассмотрим некоторые из сварочных головок, разработанных за последние годы.

В результате одной опытно-конструкторской работы разработан и изготовлен типоразмерный ряд сварочных головок открытого типа для автоматической сварки НСТ пневмогидравлических систем изделий РКТ из высокопрочных перспективных алюминиевых сплавов от 6 до 140 мм, включающий шесть типоразмеров головок. Тип ГНС традиционно представляет собой оборудование открытого типа с С-образной планшайбой для сварки пневмогидросистем (ПГС) от 3 мм. В дальнейшем они фактически стали базовыми моделями для разработки современного поколения множества специализированных сварочных головок данного типа.

Создание специализированных навесных головок с современной системой управления для сварки трубопроводов и технологического процесса сварки НСТ из алюминиевых сплавов позволило повысить качество сварных соединений и обеспечить воспроизводимость параметров режима сварки, повысив качество изделий в целом.

По типоразмерам и конструкции головки типа ГНС условно делятся на три группы, исходя из габаритов и особенностей сварки разных диаметров труб.

В первую группу входят головки для сварки трубопроводов с диапазонами диаметров 6–14 мм и 14–25 мм (рис. 1). Одни из самых малогабаритных головок имеют установочную базу 25 мм и конструктивно состоят из планшайбы (2), которая крепится к основанию (1) через втулку (6), и предназначены для вращения сварочной горелки (4) с воздушным охлаждением вокруг неповоротного стыка. Планшайба выполнена в виде зубчатого колеса с вырезанным сектором, на ней размещена горелка (4) и механизм подачи присадочной проволоки (13). При совмещённых вырезах планшайбы (2) и основания (1) головка устанавливается на трубопро-

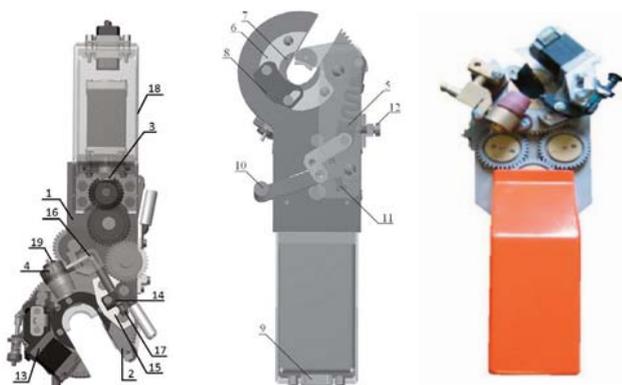


Рис. 1. Конструкция ГНС 6-14 и фото образца

вод в зоне свариваемого стыка и фиксируется механизмом крепления (5), имеющим упругий элемент для предотвращения деформации тонкостенных труб, к сменному вкладышу (7). Сменный вкладыш (7) устанавливается внутри втулки (6) на штифт и поджимается фиксатором (8). Сменный вкладыш изготавливается отдельно под требуемый диаметр трубопровода. Привод вращения планшайбы (3) сварочной головки состоит из шагового электродвигателя и двухступенчатой зубчатой передачи, закрытых кожухом (18). Управление двигателя осуществляется аппаратурой управления «Гелиос», подключаемой через разъём DB-9M (9) по интерфейсному кабелю управления шаговым двигателем. Длина дуги и угол наклона горелки выставляются до начала сварки.

Конструкция данного типоразмера имеет основание (3), на котором расположен механизм установки на трубу клещевого типа (11) с упругим элементом, выполняющим функцию фиксации сварочной головки на трубопроводе. Клещевой зажим обеспечивает быстрое крепление планшайбы на трубопроводе и ее соосность относительно свариваемого трубопровода, а сменные вкладыши из анодированного алюминия и упругий элемент зажима обеспечивают надёжное усилие зажима и защиту от деформации стенок трубы. Такой тип зажима позволяет сократить время монтажа на стыке и демонтажа головки после сварки на 40%. Вкладыши изготавливаются в соответствии с диаметром трубопровода в месте установки головки.

На основании расположена планшайба (1), механизм ее вращения и привод вращения (2). Планшайба представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо с радиальным пазом для установки на свариваемое изделие, вращающееся на опорах качения, закрытое пластиной, и входит в зацепление с редуктором привода вращения. На планшайбе закреплена водоохлаждаемая горелка (5), механизм автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД)

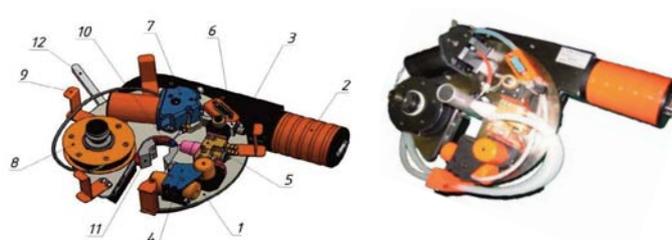


Рис. 2. Конструкция ГНС 25-45 и фото образца

и поперечных колебаний (4), механизм подачи присадочной проволоки (7) и кассета с проволокой (8).

Привод вращения представляет собой шаговый двигатель в корпусе, соединённый с механизмом вращения

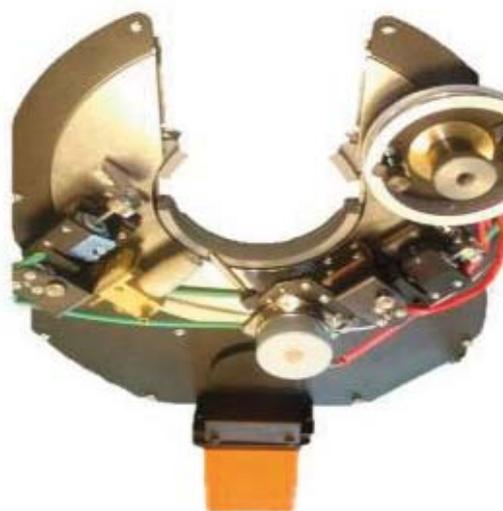
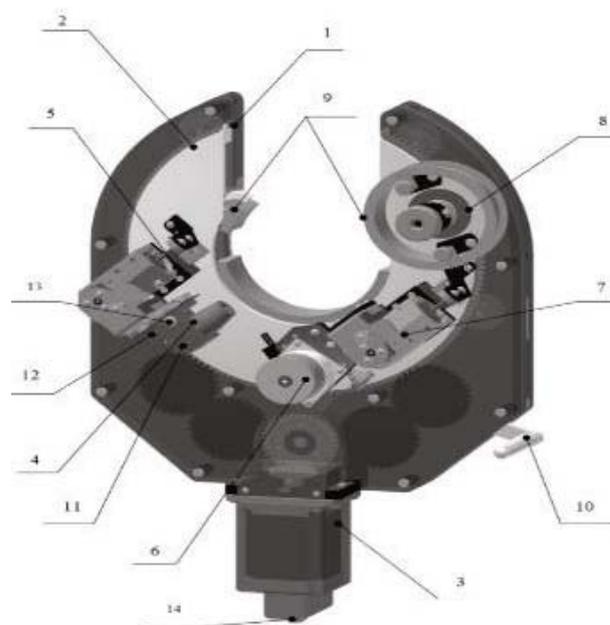


Рис. 3. Конструкция ГНС 70-105 и фото образца

планшайбы. Корпус привода используется как рукоятка при установке ее на трубопровод.

Механизм подачи присадочной проволоки установлен на планшайбе и состоит из электродвигателя шагового с червячной передачей и подающим роликом, поджимного ролика и проволоковода. Усилие прижатия присадочной проволоки регулируется винтом.

Корректор подачи присадочной проволоки (6) закреплён на горелке и обеспечивает изменения угла, а также вертикального и горизонтального смещения сопла подачи присадочной проволоки. Неподвижное соединение корректора присадочной проволоки с корпусом горелки обеспечивает сохранение данных настроек при изменении диаметра свариваемого трубопровода.

Комбинированный механизм АРНД и поперечных колебаний, на котором закреплена горелка, имеет компактную блочную конструкцию и обеспечивает необходимую длину дуги и амплитуду колебаний. Механизм включает в себя два актуатора, подключённых через электроразъём DB-15M и управляемых через аппаратуру управления. Привод поперечных колебаний может использоваться для точной настройки электрода горелки на плоскость стыка трубопровода.

Третья группа включает головки ГНС 70-105 и ГНС 105-140 (рис. 3), предназначенные для сварки трубопроводов диаметрами 70-105 мм и 105-140 мм соответственно. Из особенностей их конструкции можно выделить систему вращения с паразитными цилиндрическими колёсами, трёхточечный зажим с двумя подвижными и одним базовым вкладышами, а также независимую систему перемещения механизма подачи проволоки.

На основании (1) сварочной головки закреплены планшайба (2) и привод вращения планшайбы (3). Планшайба обеспечивает вращение основных исполнительных элементов конструкции и выполнена в

виде цилиндрического зубчатого колеса. На планшайбе неподвижно установлены узлы: сварочная горелка с водяным охлаждением (4), механизм перемещения сварочной горелки (5), механизм подачи присадочной проволоки (6), привод механизма подачи присадочной проволоки (7) и кассета (8) с присадочной проволокой.

Привод вращения планшайбы (3) состоит из конической зубчатой передачи и шагового электродвигателя, который обеспечивает вращение планшайбы с заданной скоростью. Механизм перемещения сварочной горелки (5) позволяет корректировать положение горелки относительно свариваемого стыка и обеспечивает постоянную длину дуги в процессе сварки трубопроводов соответствующих диаметров.

Контроль длины дуги осуществляется по изменяющемуся параметру ее напряжения, а настройка сварочной горелки на свариваемый стык и корректировка ее положения в процессе сварки осуществляется с помощью системы управления. Механизм подачи присадочной проволоки (6) обеспечивает подачу проволоки, установленной в кассете (8), в сварочную ванну.

Протяжка проволоки осуществляется при помощи двух цилиндрических зубчатых колёс с регулируемым усилием поджатия. Перемещение присадочной проволоки относительно сварочной горелки (4) и свариваемого стыка осуществляется с помощью привода механизма подачи присадочной проволоки (7), что позволяет регулировать положение горелки и проволоки отдельно.

Скорость подачи присадочной проволоки и положение механизма подачи настраиваются с помощью системы управления и контролируются оператором сварочного процесса.

В табл. 1 представлены технические характеристики описанных сварочных головок типа ГНС.

Таблица 1. Технические характеристики головок ГНС 6-140

Модель сварочной головки	ГНС 6-14	ГНС 14-25	ГНС 25-45	ГНС 45-70	ГНС 70-105	ГНС 105-140
Наружный диаметр свариваемого стыкового соединения, мм	6-14	14-25	25-45	45-70	70-105	105-140
Установочная база, мм	25	25	54	64,5	51	51



Модель сварочной головки	ГНС 6-14	ГНС 14-25	ГНС 25-45	ГНС 45-70	ГНС 70-105	ГНС 105-140
Максимальный радиус вращающихся частей, мм	56	59	136	136	171	180
Максимальная ширина вращающихся частей, мм	39	42	100	111	79	78
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2	2	1,6; 2,0	1,6; 2,0	2; 3	2; 3
Диаметр присадочной проволоки, мм	1,6	1,6	0,8; 1,2	0,8; 1,2	0,8; 1,2	0,8; 1,2
Величина радиального перемещения горелки, мм	6	6	13	13	17,5	17,5
Скорость сварки, м/ч	до 30	до 30	до 30	до 30	до 30	до 30
Максимальный сварочный ток в импульсе, А	100	100	150	150	150	150
Программное управление	есть	есть	есть	есть	есть	есть
АРНД	нет	нет	есть	есть	есть	есть
Поперечные колебания горелки	нет	нет	есть	есть	есть	есть
Охлаждение горелки	воздушное	воздушное	водяное	водяное	водяное	водяное
Габариты, мм	241x375x117,5	245x106x66	253x104x66	263x403x124	443x341,7x122	470x359,7x122
Масса, кг	1,2	1	5,2	6,8	10,2	10,6

Представленный базовый типоразмерный ряд сварочных головок серии ГНС современной конструкции является основой для разработки новых образцов специализированных головок открытого типа для орбитальной сварки НСТ из коррозионностойкой стали и алюминиевых сплавов при производстве перспективных изделий РКТ.

Список литературы

1. Кулик В.И., Островский О.Е., Новиков О.М., Борисов Е.М. Орбитальная дуговая сварка трубопроводов // Сварочное производство, 1992, №10. С. 10–13.

2. Чичков С.А. Новое поколение сварочных головок типа ГНС для сварки неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 3 до 310 мм // Сварочное производство, 2011, №1. С. 9–11.

3. Чичков С.А. Разработка конструкции нового поколения сварочных головок серии ГНС для орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов с использованием цифрового прототипирования // Труды МАИ, 2011, №45.

УДК 621.791.039+658.512.011.56:681.3

Кулик В.И., Чичков С.А., Илюшкин В.Ю., Сушко В.М.

Специальные сварочные головки для орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов в ракетно-космической отрасли. История развития технологии орбитальной сварки на предприятии

В статье рассматриваются предпосылки создания технологии и специального оборудования для орбитальной сварки пневмогидросистем летательных аппаратов, разрабатываемые во ФГУП «НПО» Техномаш». Описаны проблемы орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов и обоснована необходимость применения автоматической сварки для ракетно-космической отрасли.

Ключевые слова: орбитальная сварка, сварочные головки, автоматическая сварка, развитие сварки.

Развитие технологии сварки взаимосвязано с развитием конструкций ракет. Непрерывно повышающиеся требования к надёжности, точности, герметичности и прочности конструкций стимулируют внедрение на заводах новых прогрессивных процессов сварки. Широкие возможности новых технологических процессов предоставили возможность конструкторам применять новые конструкционные материалы, а также конструктивные решения, невозможные ранее.

Сварка стала одним из ведущих технологических процессов, обеспечивающих требования конструкторской документации при изготовлении ракетно-космической техники (РКТ). Несмотря на низкий удельный вес сварочных работ в общей трудоёмкости, такие процессы во многом определяют надёжность и работоспособность изделий.

Разработка специализированного автоматического сварочного оборудования, а также систем управления и технологии различных видов сварки, применяемых при производстве изделий РКТ, ведётся в отделении технологии сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш» ещё с начала 60-х гг. XX века. Автоматическая сварка успешно применяется при производстве самых современных космических аппаратов, жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), корпусов и систем ракет-носителей (РН).

Новые изделия ракетно-космической техники поставили перед сварщиками задачу разработки технологии и оборудования для автоматической сварки: в корпусном производстве – кольцевых, круговых и продольных швов большой протяжённости из высокопрочных алюминиевых сплавов, в производстве ЖРД – сварки узлов и агрегатов из новых жаропрочных сталей и сплавов, в т.ч. в неповоротном положении, а в производстве ракетных двигателей на твёрдом топливе (РДТТ) – сварки высокопрочных деталей. На изделиях, выпускавшихся ранее, применялись разъёмные (фланцевые и ниппельные) соединения, не-

обеспечивающие требуемую надёжность. Имели место случаи негерметичности как в производстве, так и при эксплуатации. Переход на сварные соединения вызван необходимостью снижения веса двигателей при одновременном повышении надёжности монтажных стыков трубопроводов. Однако сварка неповоротных монтажных соединений при сборке первых образцов представляла значительные трудности, т.к. выполнялась вручную, что не обеспечивало требуемого стабильного качества и вносило в технологический процесс субъективный фактор. При ручной сварке неповоротных стыков трубопроводов (НСТ) низкое качество объяснялось необходимостью перерывов в процессе сварки кольцевого шва, трудностью выполнения ручной сварки в наклонном и потолочном положении и в стеснённых условиях монтажа.

Современный подход к созданию космических аппаратов с использованием двигателей на жидком топливе и теплообменных систем невозможен без применения многочисленных сетей трубопроводов различного диаметра и назначения, выполненных из разных материалов. Основным методом получения неразъёмных соединений трубопроводов является дуговая сварка в защитных газах. Так, например, некоторые космические комплексы насчитывают до 20 000 стыков трубопроводов из алюминиевых сплавов и сталей. Поэтому требования качества и надёжности, предъявляемые к таким комплексам, в полной мере относятся и к сварным соединениям трубопроводов. Сварка монтажных стыков – весьма ответственная операция, т.к. является одним из завершающих этапов процесса изготовления ЖРД. Высокие требования к сварке выдвинуты в качестве одной из важнейших проблем автоматизации сварки НСТ в монтажных условиях.

Решение вопросов на новом этапе развития РКТ входит в ряд задач, которыми занимается отделение технологии сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш».



Процесс разработки и внедрение процесса автоматической сварки НСТ нового изделия схематично сводятся к следующему:

1. Изучение особенностей сварки НСТ трубопроводов необходимого материала и диаметра.

2. Конструкторские проработки свариваемых изделий на возможность проведения автоматической сварки (конструкция трубопроводов, свариваемых стыков, установочная база и т.д.).

3. Проектирование и изготовление сварочных головок, удовлетворяющих требованиям технологов, разработчиков изделий и сварщиков (конструкция головок и технология сварки во многом зависят от типа свариваемого стыка, диаметра трубопровода, материала труб, стеснённости условий сварки).

4. Разработка технологии сварки с учётом особенностей свариваемых конструкций, применяемого оборудования и требований по качеству сварного соединения.

5. Применение технологии и оборудования на производстве.

Особенностью сварки НСТ является изменение пространственного положения ванны в процессе сварки, вследствие чего неравномерно формируется шов и появляются внутренние дефекты. Для их исключения необходимо регулировать тепловую энергию дуги, скорость сварки, подачу присадочной проволоки и другие параметры в процессе сварки. Такое регулирование осуществляется специальной аппаратурой управления сваркой.

Данная задача усложняется при сварке трубопроводов из алюминиевых сплавов из-за особых физико-химических свойств металла, таких как высокая жидкотекучесть, малая величина поверхностного натяжения, высокая химическая активность, а также склонность к возникновению дефектов в виде пористости и окисных включений.

Установлено, что в процессе сварки на расплавленный металл сварочной ванны действует ряд сил, соотношение которых определяет условие формирования шва. При орбитальной сварке это соотношение непрерывно меняется, обуславливая неравномерность формирования шва по периметру стыка и возможность образования дефектов шва, таких как вогнутость с внутренней стороны, подрезы, неравномерность усиления шва и ряд других, что приводит к резкому снижению механических свойств и вибростойкости сварного соединения.

При сварке в нижнем положении поверхность сварочной ванны занимает горизонтальное положение, что создаёт благоприятные условия для формирования шва, т.к. жидкий металл удерживается на свариваемой поверхности под действием силы поверхностного натяжения.

Сварка в вертикальном положении «на спуск» характеризуется тем, что направление силы тяжести жидкого металла и направление сварки совпадают, сварочная ванна подтекает под столб дуги, что уменьшает глубину проплавления. При сварке в вертикальном положении «на подъём» направление силы тяжести жидкого металла противоположно направлению сварки, сварочная ванна вытекает из-под столба дуги, увеличивая при этом глубину проплавления.

При сварке в потолочном положении поверхность ванны занимает горизонтальное положение, и металл ванны удерживается силами поверхностного натяжения и давления дуги.

Таким образом, можно утверждать, что равновесие сварочной ванны в различных пространственных положениях определяется действием трёх сил: силой давления дуги, силой поверхностного натяжения жидкого металла сварочной ванны и весом сварочной ванны.

Кроме того, задача качественного формирования шва усложняется при сварке трубопроводов малого диаметра, что обусловлено ускоренным теплонасыщением свариваемого соединения.

В целях управления силами, действующими на сварочную ванну, разработан комплекс методов и средств, обеспечивающих стабильное формирование шва при орбитальной сварке. Применительно к сварке труб малого диаметра можно выделить следующие основные методы:

– стабилизация и автоматическое регулирование тепловложения в процессе сварки, осуществляемое по заданной программе в зависимости от объёма сварочной ванны и ее положения в пространстве;

– сварка с автопрессовкой, основанная на сокращении объёма жидкого металла в сварочной ванне и обеспечивающая формирование усиления шва с помощью дополнительных проходов без подачи присадочного материала;

– сварка с импульсным тепловложением, обеспечивающая наиболее оптимальную форму сварочной ванны.

С учётом перечисленных особенностей разработан ряд сварочных головок, охватывающий широкий диапазон диаметров.

За время существования отделения технологии сварки и пайки в целях создания аэрокосмических комплексов разработано, изготовлено и внедрено на предприятиях более 30 типоразмеров головок АНС, ГНС, ГНСА, ГСМ, ГСК и др. для автоматической сварки трубопроводов снаружи и шесть типоразмеров головок для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов изнутри.

Разработанный параметрический ряд головок для автоматической сварки трубопроводов снаружи охватывает диапазон диаметров труб от 3 до 840 мм (рис. 1, рис. 2), а для

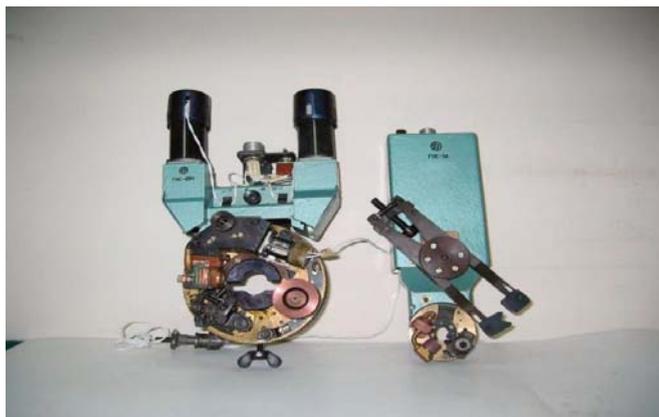


Рис. 1. Головки для сварки НСТ типа ГНС разработки 70-80-х гг. XX века

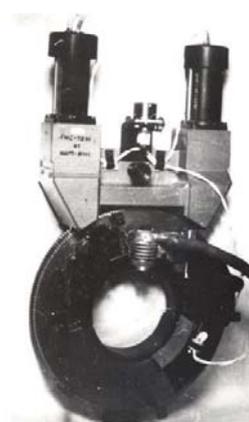
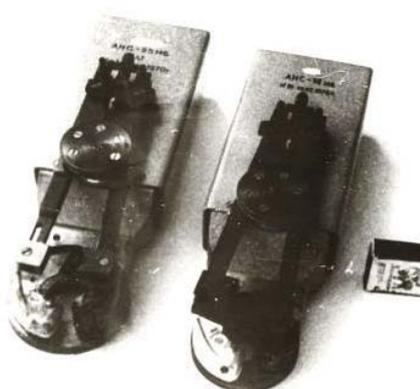


Рис. 2. Головки для сварки НСТ типов АНС (слева) и ГНС разработки 60-х гг. XX века

сварки изнутри – от 30 до 290 мм. Разработанные сварочные головки способны сваривать трубопроводы, изготовленные из стали и ее сплавов, из лёгких сплавов на основе алюминия. Конструктивно головки выполнялись по единому принципу: основание планшайбы, монтируемое на трубопровод; непосредственно планшайба с размещённой на ней горелкой и электропривод вращения планшайбы. В зависимости от материала, из которого выполнен трубопровод, на планшайбе дополнительно могут быть размещены механизмы слежения по длине дуги, подачи присадочной проволоки, частоты колебания электрода. Исходя из условий размещения сварочной головки при монтаже (световые зазоры, установочная база), а также в зависимости от числа сварочных проходов, конструкция токо- и газоподвода может быть выполнена с коллектором или без него.

Применение автоматической сварки НСТ повысило качество сварных соединений до 90%. В дальнейшем эта технология внедрена на многих предприятиях отрасли. Головки для автоматической сварки неповоротных стыков труб находили применение и в других отраслях промышленности.

Все это свидетельствует о необходимости разработки новых поколений сварочных головок и аппаратуры управ-

ления автоматической сваркой с использованием современных средств и методов, новых материалов и технологии для удовлетворения потребностей отечественной ракетно-космической отрасли в области орбитальной сварки трубопроводных систем.

Коллектив отделения технологии сварки и пайки не останавливаясь на достигнутом, продолжает совершенствовать существующее и разрабатывать принципиально новое оборудование для автоматической сварки.

Список литературы

1. Кулик В.И., Островский О.Е., Новиков О.М., Борисов Е.М. Орбитальная дуговая сварка трубопроводов // Сварочное производство, 1992, №10. С. 10-13.
2. Технический отчёт по теме №272. История развития РКТ в СССР в послевоенный период. Разделы III, IV, V – развитие технологии в период 1947–1975 гг. Книга IV. // НИИТМ, 1975. С. 54–80.
3. Сварка трубопроводов сложной конфигурации // О.Е. Островский, В.И. Кулик, Г.М. Львов, Е.А. Манжос // ПТО №2, 1988, ЦНИИ Поиск. С. 26–31

УДК 621.791.03

Кулик В.И., Смирнов А.В., Щегольсков В.П., Смирнов А.Г., Степанов В.В.

Тенденции развития современной аппаратуры для управления циклом орбитальной сварки

В работе рассматривается современное состояние и тенденции развития аппаратуры для орбитальной сварки. Проводится анализ возможности использования современных систем на базе процессоров серии «Байкал» и «Эльбрус» для построения системы управления процессом сварки.

Ключевые слова: орбитальная сварка, система управления, микроконтроллеры, микропроцессоры, импортозамещение.

В настоящее время при разработке современного сварочного оборудования большое внимание уделяется системам управления и контроля параметров процесса сварки. При эксплуатации оборудования с помощью данной системы оператор взаимодействует с установкой. От её удобства и возможностей в значительной степени зависит выбор потребителя при покупке нового оборудования. Исходя из этого, практически все производители сварочного оборудования стараются разрабатывать системы управления сварочным оборудованием с учётом гибкости настройки и обеспечения требуемого уровня эффективности управления процессом с возможностью сохранения параметров режима сварки.

Основные подходы к разработке оборудования для управления сварочным процессом обычно заключаются в применении микроконтроллерных или микропроцессорных систем.

Системы управления на базе микроконтроллеров обычно проще в конструктивном исполнении и не требовательны к вычислительным ресурсам, что делает их при-

менение эффективным для изготовления компактного оборудования для сварки в полевых условиях.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» с середины 2000-х изготавливалась автоматическая система управления «Гелиос», разработанная на базе микроконтроллеров фирмы Microchip серии PIC16X (рис. 1). Данная система построена на плате управления с микроконтроллером и модулями памяти, а также небольшой цифро-аналоговой графической панели.

Промышленное применение данной системы показало её надёжность и возможность эксплуатации в сложных цеховых условиях. Однако в силу технических параметров микроконтроллера PIC16F877 (табл. 1) её возможности не позволяли запоминать более 20 сварочных программ и записывать лог-файл сварочного процесса, а ограничение шины в 8 бит не обеспечивало гибкость задания режимов сварки. Такой ограниченный функционал к 2014 г. сделал данный тип оборудования неконкурентоспособным на отечественном рынке.

Таблица 1. Технические характеристики микроконтроллера PIC16F877

Ширина шины данных	8-бит
Тактовая частота	20МГц
Объём RAM	368x8

В связи с этим на базе имевшихся разработок принято решение о создании новой системы управления оборудованием для орбитальной сварки. Для этого отделением технологии сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш» совместно с ЗАО «Лаборатория Электроники» разработана система управления «Гелиос» нового поколения на базе микропроцессорной системы (персонального компьютера, ПК). Такой подход позволил обеспечить «дружелюбный» к пользователю интерфейс для задания режимов сварки и возможность настройки вывода информации о проведённом процессе в заданной форме, что соответствовало современным требованиям к подобным системам. Принципиальная схема данного типа оборудования представлена на рис. 2.

Аппаратура управления сварочным оборудованием основана на базе одноплатного компьютера, который по-

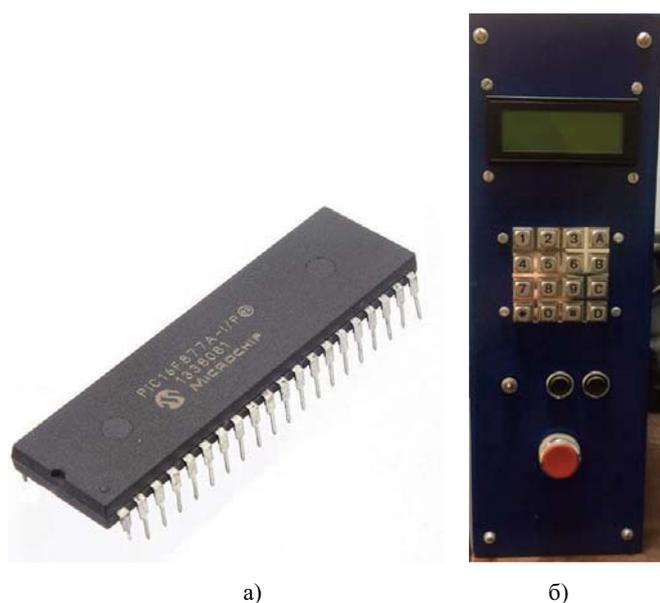


Рис. 1. Внешний вид аппаратуры «Гелиос» середины 2000-х:
 а) микроконтроллер PIC16F877;
 б) внешний вид панели оператора «Гелиос»

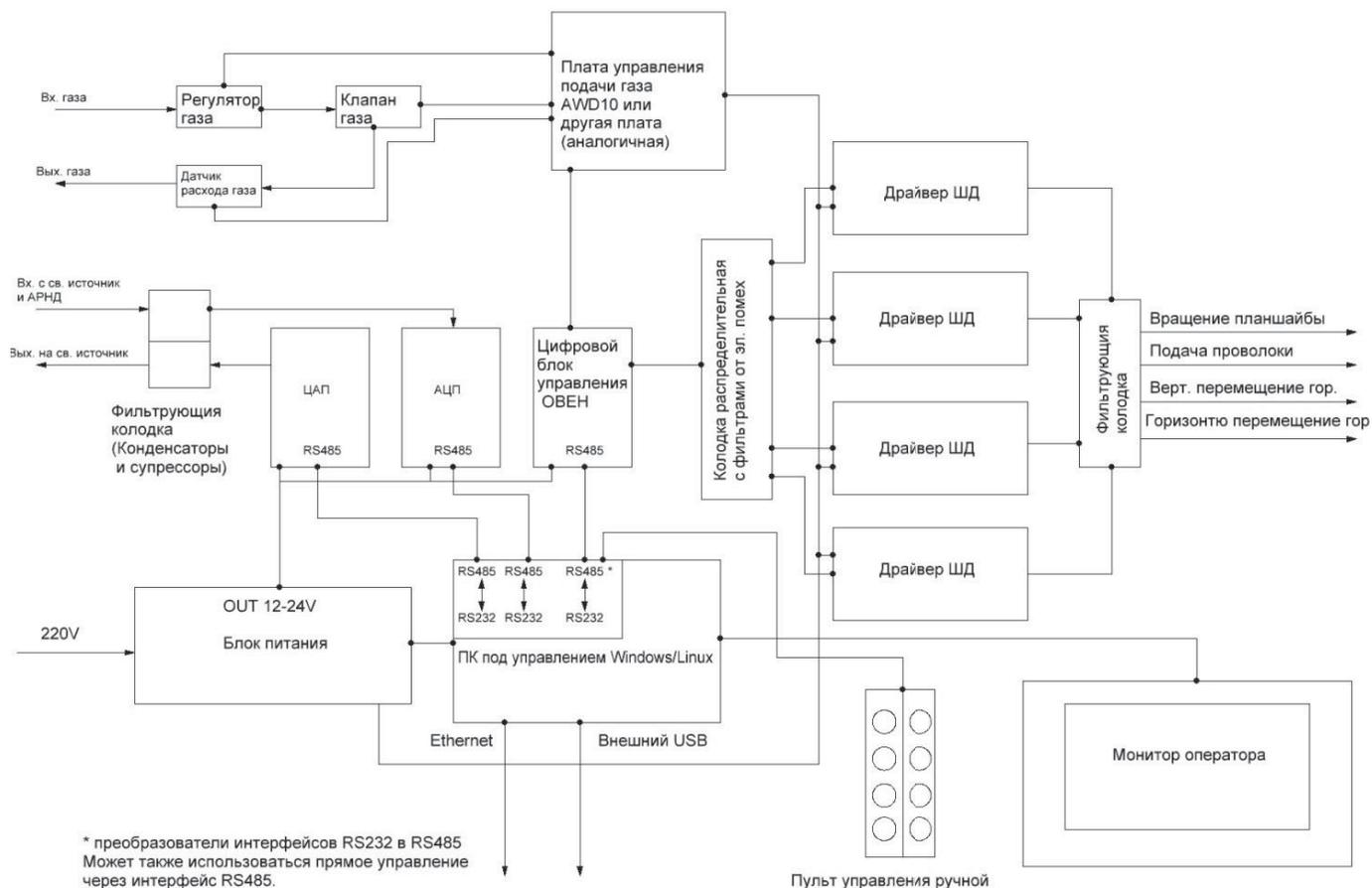


Рис. 2. Принципиальная схема оборудования на базе системы управления «Гелиос» с использованием ПК



Рис. 3. Внешний вид панели оператора аппаратуры Гелиос с интерфейсом программы задания параметров режима сварки

средством цифрового блока управления, аналогово-цифровых (АЦП) и цифро-аналоговых (ЦАП) преобразователей осуществляет взаимодействие со всеми периферийными устройствами. Задание установочных параметров и параметров сварки осуществляется с помощью программы, установленной на компьютер, с выводом изображения на сенсорный экран на пульте управления

(рис. 3). Для возможности вывода на печать протокола с параметрами режима сварки и передачи их в общую систему управления промышленным предприятием в компьютере предусмотрено взаимодействие с сетью через интерфейс Ethernet.

Для разработки программного обеспечения использовалась графическая среда NI LabView, которая имеет модули для сбора и обработки данных с различных датчиков и оборудования, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. На основе данной системы можно разрабатывать программное обеспечение близкое по своим функциональным возможностям к промышленным SCADA-системам.

Для изготовления аппаратуры «Гелиос» нового поколения процессом орбитальной сварки использовался одноплатный мини-ПК тайваньского или китайского производства, построенный на процессоре Intel Atom или Intel Core i3.

Современные тенденции развития отечественного оборудования для управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности требуют внедрения разработок российского производства. В целях дальнейшего развития оборудования для орбитальной сварки проведена оценка возможности использования в качестве управляющего компьютера компактных отечественных

вычислительных комплексов. Анализ рынка современной вычислительной техники показал, что для построения систем управления можно использовать модули на базе процессоров серии Байкал (АО «Байкал электроникс») на базе иностранной архитектуры MIPS и серии Эльбрус (АО «МЦСТ»). Компактные модули на базе данных процессоров, которые можно использовать для построения системы управления, показаны на рис. 4.

Малогабаритный вычислительный модуль МПУ-СОМ предназначен для использования во встраиваемой технике: бортовых компьютерах, моноблочных дисплеях, компактных вычислительных модулях.

Оценочная плата ВФК 3.1, построенная на кристалле ВЕ Т1000, предназначена для отладки системного и прикладного программного обеспечения, макетирования конечных устройств, а также для оценки производительности центрального процессора.

Сравнение технических характеристик рассмотренных комплексов представлено в табл. 2.

Данные процессоры позволяют использовать операционную систему реального времени, что актуально для сбора и анализа информации о технологическом процессе. Операционная система основана на Linux. В комплексах на базе процессоров Эльбрус может использоваться операционная система на базе ядра Linux 2.6.33.1 или готовый дистрибутив на основе Debian Lenny.

Исходя из особенностей используемых операционных систем, можно заключить, что использование существующих программных средств для управления процессом сварки будет осложняться их переносом на новую систему. В связи с этим для построения системы управления на данных одноплатных компьютерах наиболее рационально разработать специализированное программное обеспечение. В качестве графической оболочки для взаимодействия с пользователем целесообразно использовать среду GTK.

Для оценки возможности подключения периферии к данной системе производился поиск драйверов для операционных систем на базе Linux, в результате чего установлено, что не все используемые периферийные устройства имеют поддержку непосредственной работы в среде Linux. Для их использования потребуются разработка более сложного программного обеспечения по сравнению с используемым в настоящее время и написанном на языке G в среде NI Labview. Другим вариантом является использование более дорогостоящих интерфейсных модулей, например, компании ICP Das,

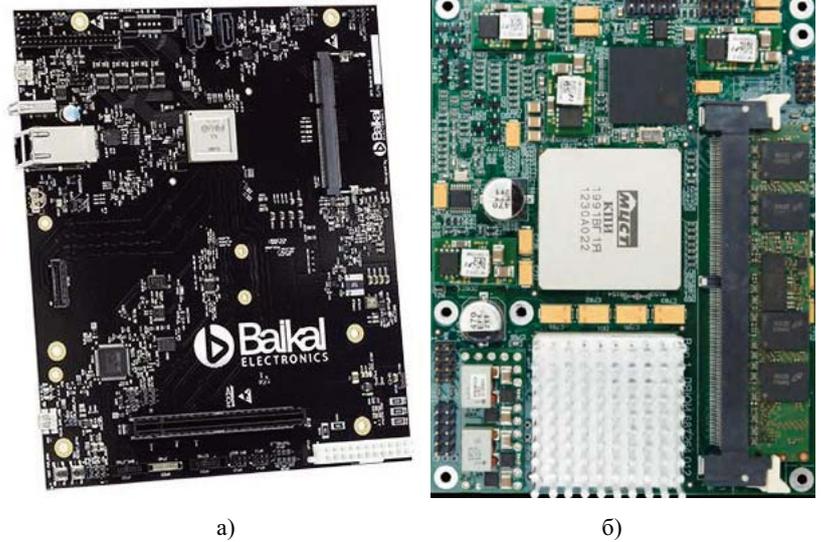


Рис. 4. Внешний вид вычислительных комплексов на базе «Эльбрус» и «Байкал» а) оценочная плата ВФК 3.1; б) процессорный модуль МПУ-СОМ

Таблица 2. Сравнительные технические характеристики отечественных модулей, которые можно использовать в качестве одноплатного ПК

	Процессорный модуль МПУ-СОМ	Оценочная плата ВФК 3.1
Микропроцессор	МЦСТ R1000, 4 ядра, 1000 МГц, 2 МБ кэш-памяти	ВЕ-Т1000 2 ядра 1.2 МГц, 1 МБ кэш-памяти
Оперативная память	4 Гб DDR3	До 8 Гб DDR3
Порты ввода/вывода	PCI-Express 1.0x8, VGA, DVI (LVDS), 5 каналов USB 2.0, шина PCI 32/33	PCI-Express 1.0x4, VGA, DVI (LVDS), USB 2.0, шина PCI 32/33, 32Bit GPIO

имеющих непосредственную поддержку операционной системы Linux.

На основании этого можно заключить, что для изготовления аппаратуры управления установками для орбитальной сварки можно использовать отечественные одноплатные компьютеры на базе решений «Эльбрус» и «Байкал». При этом развитие процессоров данной серии (например, анонсированный новый процессор «Эльбрус-8СВ») позволит существенно повысить производительность процесса и обеспечить более быструю обработку сигналов.

Вместе с этим ограниченное использование данных систем приводит к тому, что разработка программного обеспечения и применения специализированных периферийных устройств требует больших затрат и может увеличивать себестоимость системы в целом. Однако возрастающий интерес к компьютерам данных серий в будущем должен привести к расширению номенклатуры поддерживаемых устройств, что позволит обеспечить применение таких вычислительных комплексов в промышленности.

◆ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.7

Бежеков В.Г., Бараев А.В., Кулик В.И., Степанов В.В., Пильщик М.А., Бочаров Ю.А.

Исследование методики сферодинамической активации материала поверхностных слоёв деталей металлокерамических узлов камер сгорания двигательных установок ракетно-космической техники

Статья посвящена разработке методики сферодинамической подготовки материала поверхности металлических образцов деталей перед высокотемпературной пайкой металлокерамических сборочных узлов двигательных установок летательных аппаратов.

Ключевые слова: высокотемпературная пайка, металлокерамическая сборка, эффект сферодинамики, эффект Баушингера, логарифмическая спираль Бернулли.

В настоящее время керамические конструкционные материалы находят все более широкое применение в ракетно-космической технике. Сочетание малой плотности, химической стойкости и возможности сохранять работоспособность при высоких температурах делают керамические материалы перспективными для изготовления таких изделий, как камеры сгорания, турбины силовых установок и т.д.

Изготавливаемое в настоящее время колесо турбонасосного агрегата из жаропрочных никелевых сплавов под воздействием термодинамических нагрузок работает на пределе своих физико-химических свойств.

С увеличением эксплуатационных нагрузок перспективным конструкционным материалом для колеса турбины является керамика на основе карбида и нитрида кремния, обладающая уникальным сочетанием механических, теплофизических и химических свойств.

Конструкционная керамика жаростойка при температуре 1300–1500°C, что позволит повысить температуру рабочего тела, подаваемого на колесо турбины и, тем самым, увеличить КПД узла.

Однако существенной проблемой является соединение керамического рабочего колеса с металлическим валом из жаропрочных сплавов. Наиболее надежным технологическим процессом соединения является высокотемпературная пайка.

Развитие ракетно-космической техники (РКТ) ставит задачу повышения эксплуатационных нагрузок двигателей малой тяги (ДМТ), в том числе увеличение рабочей температуры камеры сгорания (КС). Изготовление КС из традиционных материалов на основе тугоплавких металлов становится неэффективным и затратным, т.к. требует нанесения на поверхность сложных защитных покрытий, состоящих из нескольких слоев различного химического состава. В этой связи рассматривается возможность исполь-

зования в конструкции камер сгорания термостойких материалов, обладающих малым весом (низкой плотностью). Среди таких материалов наибольший интерес представляет высокопрочная конструкционная керамика с плотностью до $\sigma = 3,2 \text{ г/см}^3$, обладающая сохранением сплошности конструкции при температурах 2100–2400°C под действием агрессивных сред.

Существенной проблемой использования конструкционной керамики в двигательной установке малой тяги является необходимость ее соединения с металлическими частями, например, с форсуночной головкой. Для соединения таких деталей в настоящее время применяется механическое крепление с помощью бандажей из металлических материалов. Применение высокотемпературной пайки является наиболее перспективным, поскольку позволяет получить соединения с минимальными массогабаритными характеристиками (за счёт отсутствия металлических бандажей), а также обеспечивать герметичность и прочность соединений.

Интерес к проблеме изготовления паяных металлокерамических деталей со стороны специалистов в области жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), в том числе ДМТ объясняется удачным комплексом эксплуатационных характеристик таких деталей в виде сочетания малой плотности, химической стойкости и высокой надёжности при высоких температурах.

Технико-экономический анализ свидетельствует, что для успешной реализации нового технологического направления получения паяных металлокерамических деталей необходимо решать принципиальные технологические вопросы, среди которых наиболее актуальное значение имеют следующие:

– получение нового поколения паяных высокогерметичных металлокерамических деталей;

– разработка метода повышения диффузионной активности материала поверхностного слоя металлических элементов паяного металлокерамического узла;

– разработка промышленной технологии изготовления металлокерамических узлов со сложной геометрией составных элементов соединения;

– разработка нового поколения припоев, обеспечивающих высокий уровень герметичности соединения в металлокерамических узлах.

Применительно к современному уровню развития РКТ использование металлокерамических узлов позволит решить ряд проблем.

Одним из перспективных направлений увеличения экономичности ракетных двигателей малой тяги (РДМТ) является повышение температуры рабочего тела (продуктов сгорания), что требует использования в конструкции двигателей материалов, работоспособных при повышенных температурах.

Используемые в настоящее время сплавы на основе жаропрочных металлов обеспечивают жаропрочность камер сгорания РДМТ при температурах до 1300–1500°C. Исследования применения более термостойких материа-

лов, в частности керамических, указывают на возможность существенного повышения уровня допустимой температуры камеры. При этом специфика работы РДМТ предъявляет дополнительные требования к конструкционным материалам, такие как стойкость к многочисленным циклическим тепловым и механическим нагрузкам, стойкость к воздействию агрессивной среды, что является одним из основных препятствий к внедрению керамических материалов в конструкцию этих изделий. По этой причине, считаем необходимым провести обоснование работоспособности керамики при нагрузках, соответствующих условиям применения в конструкциях перспективных РДМТ.

Разработка конкурентоспособных импортозамещающих технологий высокотемпературной пайки металлокерамических конструкций в глубоком вакууме, кроме РДМТ традиционного типа, может найти применение при создании других перспективных изделий, в конструкции которых широко используются керамические и металлические материалы, работающие при повышенных температурах. К ним, в частности, относятся электронагревательные и электродуговые двигатели, основные узлы кон-

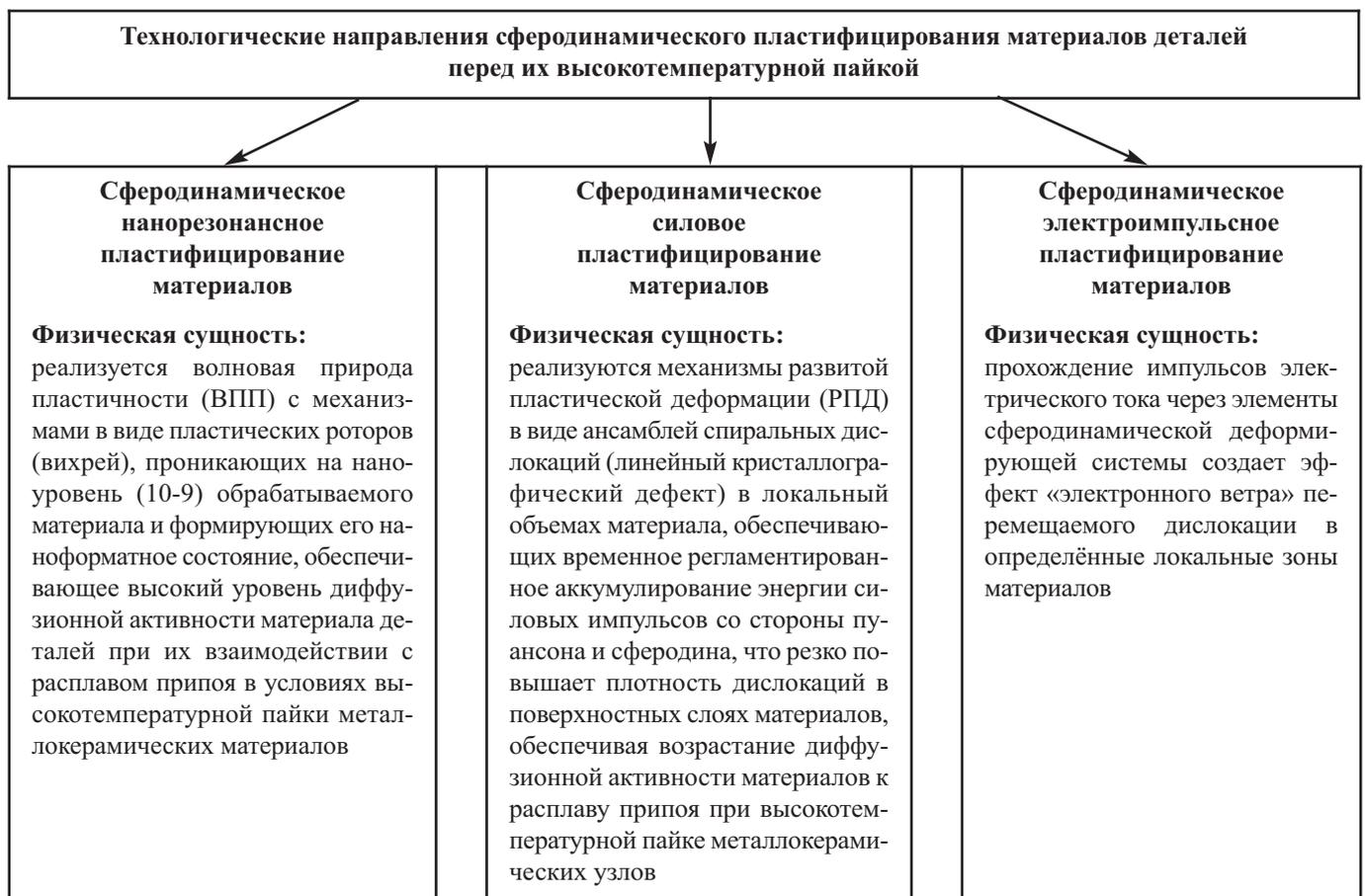


Рис. 1. Структура технологического направления «Сферодинамическое пластифицирование»

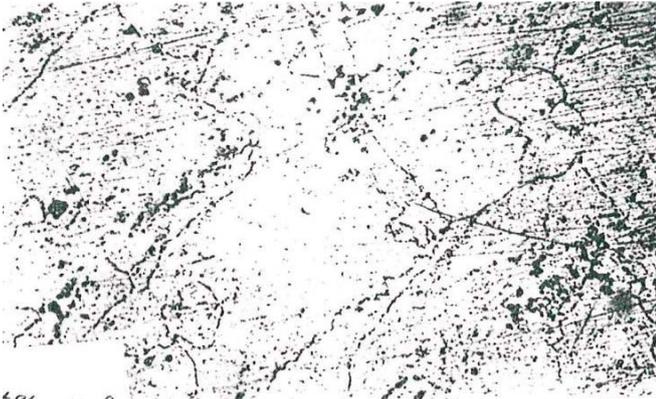


Рис. 2. Микроструктура аустенитного никелевого сплава (исходное состояние)

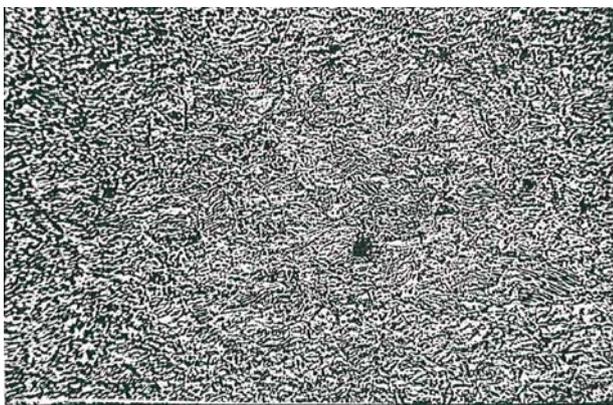


Рис. 3. Микроструктура аустенитного никелевого сплава после сферодинамического пластифицирования

структуры которых должны работать при температурах 2000°C и более.

Другой важной проблемой использования керамики в конструкции камер сгорания РДМТ является отсутствие технологических решений по герметичному соединению керамики с металлами, обеспечивающему работоспособность при повышенных температурах.

Рассматривается также возможность применения керамики и в конструкции узлов перспективных вариантов РДМТ, в которых, для повышения экономичности, производится подогрев топлива до 1500–2000°C.

В целях решения данной проблемы учёными отделения технологии сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш»: главным научным сотрудником, доктором технических наук В.Г. Бещековым и начальником лаборатории технологии пайки, кандидатом технических наук В.В. Степановым разработана методика сферодинамической активации материала поверхностных слоев деталей металлокерамических узлов, базирующаяся на эффекте сферодинамики, при котором в процессе силовой импульсной обработки заготовки, размещенной на свободно установленной опоре, последняя, в определенный момент обработки,

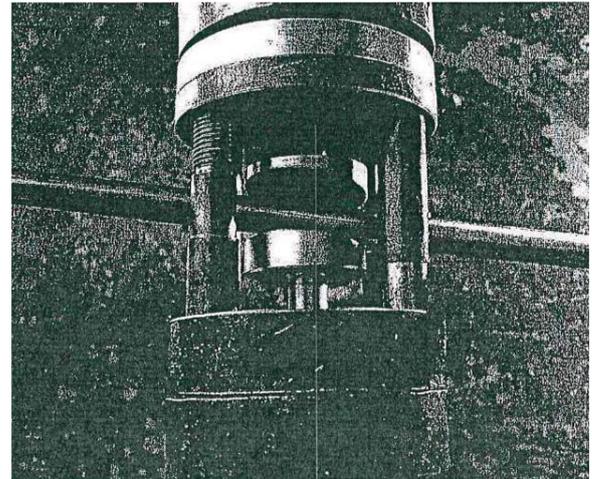


Рис. 4. Силовая сферодинамическая пластификация металла трубных заготовок перед высокотемпературной пайкой металлокерамических сборок

спонтанно (без внешних воздействий) приобретает свойства беспроводного источника силовых импульсов, формируя, в материале заготовки феноменологическое (отсутствующее в природе) сочетание физических свойств данного материала.

На рис. 1 представлена структура технологического направления «Сферодинамическое пластифицирование», физическая сущность которого заключается в реализации в процессе сферодинамической обработки металлических деталей волновой природы пластической деформации в виде пластических роторов – вихрей, обеспечивающих повышение на порядок (в 10 раз) плотности дислокации на поверхности детали со стороны припоя при последующей высокотемпературной пайке. Высокая плотность дислокаций в металле поверхностного слоя детали обуславливает резкое повышение его диффузионной активности и, как следствие, образование с материалом припоя высокогерметичного металлургического соединения, надёжного в условиях высоких температур, знакопеременных нагрузок и химически активных средах.

На рис. 2, 3 представлены фотографии микроструктур металла поверхностного слоя деталей до и после сферодинамического пластифицирования.

Для лабораторной отработки разработанной методики сферодинамической активации материала поверхностных слоев деталей металлокерамических узлов изготовлен сферодинамический реверсор (рис. 4) с комплектом сменных бойков (рис. 5) моделирующих стадий реализации эффекта сферодинамики. Реверсор смонтирован на гидравлическом прессе мод. ДБ2432 ($P = 1,6 \text{ кН}$) (рис. 6).

В результате проведенного цикла исследований эффективности применения методики сферодинамической акти-



Рис. 5. Комплект бойков сферореверсора

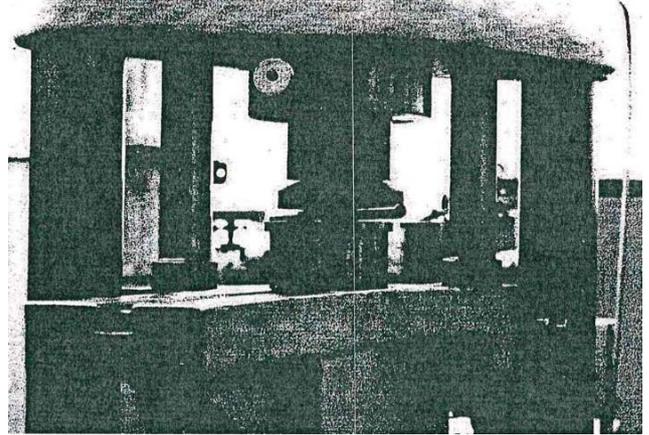
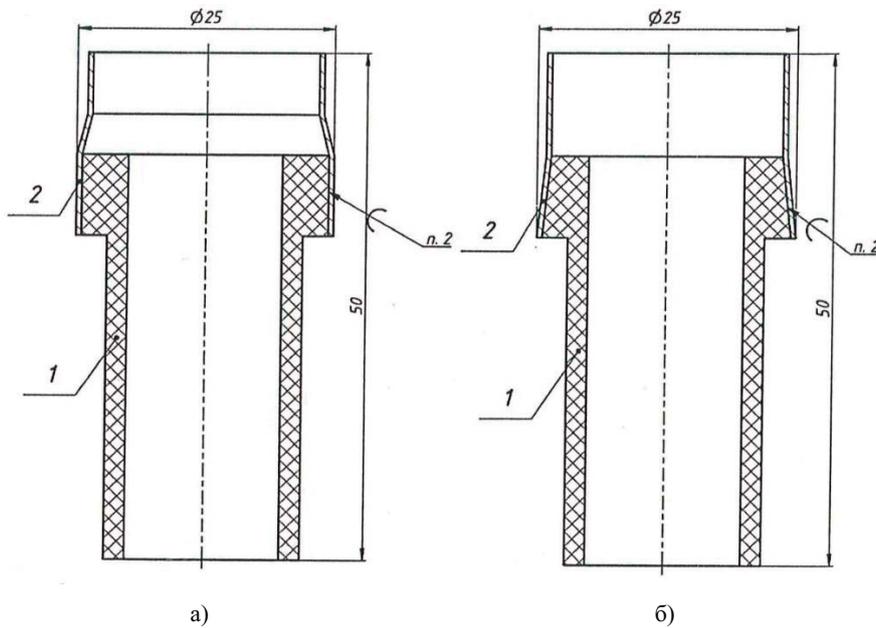
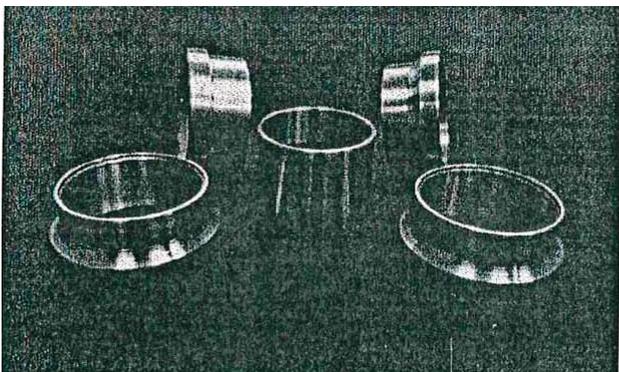
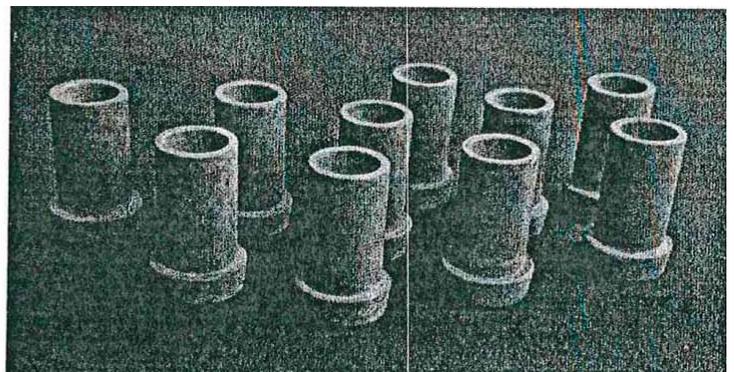


Рис. 6. Гидравлический пресс мод. ДБ2432 (P = 1600кН) с установленной технологической оснасткой силовой сферодинамической пластификации металла заготовок

Рис. 7. Схема охватывающего паяного соединения керамики с металлами:
а) цилиндрическое соединение; б) коническое соединение

а)



б)

Рис. 8. Фото изготовленных деталей макетных образцов паяного соединения:
а) металлические переходники; б) керамические детали

вазии материала изготовлены макетные образцы паяных металлокерамических соединений (рис 6, 7, 8).

Результатом проведенной работы явилась созданная диаграмма влияния сферодинамической активации мате-

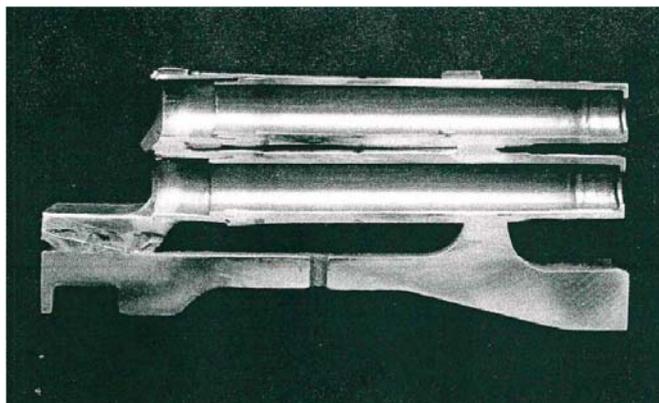


Рис. 9. Фрагмент паяного блока сопел КС ЖРД

риала деталей на механические свойства металллокерамических макетных образцов (рис. 9).

Анализ рис. 10 иллюстрирует очевидную эффективность разработанной методики в отношении измельчения зерна матричного материала образца и, обеспечивающей повышение плотности дислокаций в зерне и по его границам. Как следствие, разное увеличение диффузионной активности материала при высокотемпературной пайке, результатом чего является высокая надежность паяных соединений в эксплуатационных условиях. Необходимо отметить, что функциональная зависимость, описывающая динамику изменения величины матричного зерна образца, описывается известной кривой типа спирали Бернулли [2] с шагом роста, соответствующим шагу роста

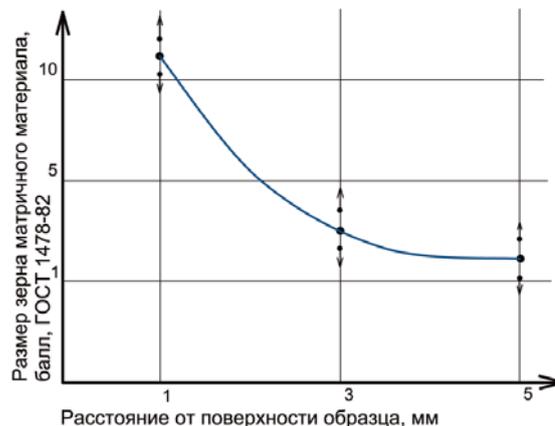


Рис. 10. Диаграмма влияния сферодинамической активации материала на средний размер зерна матричного материала

аналогичной спирали, описывающей изменение степени деформации материала образца в условиях реализации эффекта Баушингера [3].

Список литературы

1. Способ обработки материалов давлением и устройство для его осуществления. Европатент W097/39847 МПК В21Д37/12/ В.Г. Бещеков, В.В. Булавкин, Ю.Ф. Назаров//ВОИС, 1997.
2. Справочник по высшей математике/ М.Я. Выгодский/ М.: Наука, 1978. С. 205.
3. Пластическая деформация металлов/ Р. Хоникомб/ М.: Наука, 1981. С. 217.

УДК 621.7

Захаров М.А.

Устройства и методы изготовления скрученных участков волноводов

Работа посвящена методам изготовления волноводов кручением. Произведен обзор устройств для изготовления скрученных участков волноводов.

Ключевые слова: волновод, пластическая деформация, скручивание трубных заготовок.

Введение

Волноводная система является одним из видов линий передачи электромагнитной энергии. Её отличие состоит в возможности передачи большой мощности и простоте конструкции. Данный вид широко применяется в радиотехнике сверхвысоких частот. Волноводы представляют собой трубу квадратного или круглого поперечного сечения, имеющую проводящую внутреннюю поверхность, и присоединительные фланцы.

По волноводу могут распространяться различные типы электромагнитных волн. Преимущественное распространение волн того или иного типа зависит от геометрических размеров волновода, частоты возбуждаемых электромагнитных колебаний и метода их возбуждения. В однородном полом волноводе может быть только бегущая волна. Любое нарушение однородности: искривление оси волновода, изменение поперечного сечения, вызывает отражение волны от места нарушения однородности. В за-

висимости от конструктивных требований и назначения волноводные трубы бывают прямолинейными, изогнутыми, скрученными и могут иметь переменное по длине сечение (рис. 1).

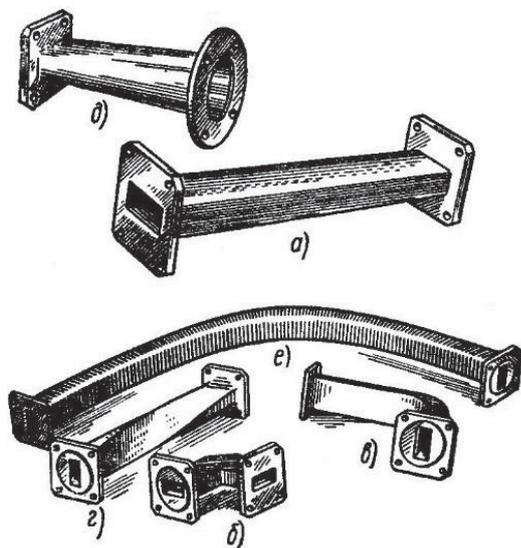


Рис. 1 – Виды волноводов: а) прямолинейный; б, в) – изогнутые; г) скрученный; д) волновод с переменным поперечным сечением; е) гибкий волновод [1]

Изготовление скрученных волноводов

Скрученные волноводы служат для изменения поляризации радиоволн. Направление оси у таких узлов остаётся постоянным, а поперечное сечение постепенно меняет своё положение. Участок (от начала скрутки до её) конца является областью распределённой неоднородности. Для лучшего согласования длина участка трубы должна быть равна длине волны в волноводе. Длины волн в скрученном и прямолинейном волноводах примерно равны, если размеры и форма прямоугольного и скрученного участков в любом поперечном сечении постоянны и одинаковы.

Оправки для скручивания

При изготовлении скрученных труб кроме требуемого угла скручивания заготовки необходимы постоянные внутренние размеры и чистота внутренней поверхности. Применяют скручивание с заполнением полости заготовки [1].

В качестве наполнителей при скручивании в горячем состоянии используются церезин, смесь канифоли с воском, льняным маслом и кварцевым песком. Для скручивания в холодном состоянии широко применяют оправки, представляющие собой стальные или текстолитовые пластины (рис. 3, поз. 4), соединённые в пакет шпилькой (рис. 3, поз. 1). Готовый пакет шлифуется, обильно смазывается, помещается в волноводную трубу (рис. 3, поз. 3), сжима-

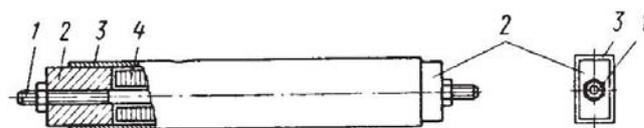


Рис. 2. Заготовка, подготовленная для скручивания [1]

ется вкладышами и гайками (рис. 2, поз. 3). Для сохранения токоведущей поверхности от дефектов между оправкой и стенками трубы прокладывается фольга из латуни или меди толщиной 0,2 мм. Такой вид оправки применим лишь для одного конкретного сечения волноводной трубы.

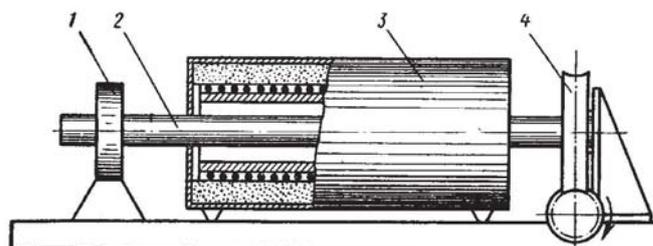


Рис.3. Установка для скручивания волноводных труб в нагретом состоянии [1]

Скручивание в горячем состоянии

Волноводные трубы большой жёсткости с размерами поперечного сечения более 72x34 скручивают в нагретом состоянии. Схема установки приведена на рис. 3.

Процесс скручивания состоит в следующем: полость заготовки (рис. 3, поз. 2) заполняют наполнителем и закрывают её концы заглушками, помещают в муфельную печь (рис. 3, поз. 3) и выдерживают при температуре от 300 до 400 °С в течение 25–30 минут. При этом один конец заготовки закреплён в неподвижном зажиме (рис. 3, поз. 1), а второй – в подвижном, скручивание осуществляется с помощью червячной пары (рис. 3, поз. 4).

Для равномерного скручивания необходимо постоянство температуры в зоне деформации. Для этого в крайних областях печи предусматривают повышенную температуру в связи с сильной теплоотдачей в этих областях.

Скручивание в холодном состоянии

Волноводные трубы меньшего сечения скручивают в холодном состоянии. Для снятия внутренних напряжений перед скручиванием проводят отжиг. В качестве наполнителя используют стальные или текстолитовые пластины, располагаемые перпендикулярно к оси заготовки.

Скручивание ведётся на оборудовании (рис. 4), которое обеспечивает жёсткое закрепление одного конца волноводной трубы (рис. 4, поз. 2) в зажимном узле (рис. 4, поз. 3)

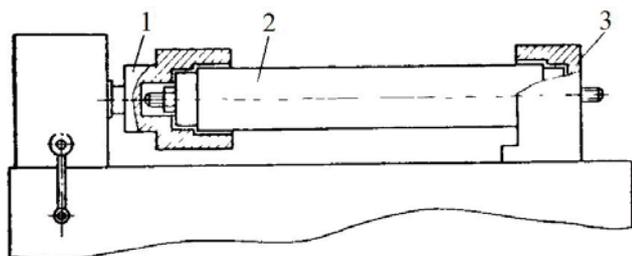


Рис. 4. Оборудование для скручивания [1]

и поворот другого ее конца, зажатого в патроне (рис. 4, поз. 1), на требуемый угол. Для осуществления процесса применяется червячная пара.

После скручивания удаляется шпилька и извлекаются пластины из полости волноводной трубы.

Существует способ и устройство (рис. 5) для изготовления скрученных участков путём проталкивания трубной заготовки через поворотный диск [2].

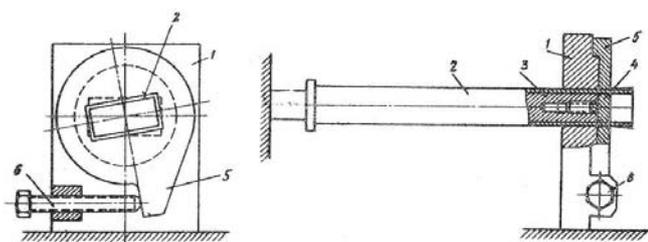


Рис. 5. Устройство для изготовления скрученных волноводов [2]

Устройство работает следующим образом. Отрезок трубы (рис. 5, поз. 2) прямоугольного поперечного сечения насаживается на оправку (рис. 5, поз. 3) и поворотный калибрующий сухарь (рис. 5, поз. 4). С наружной стороны отрезок трубы охватывается стойкой (рис. 5, поз. 1) и поворотным диском с рычагом (рис. 5, поз. 5). Плоскости соприкосновения торцов оправки с поворотным калибрующим сухарем и стойки с диском должны быть совмещены. При ввёртывании винта (рис. 5, поз. 6) поворачивается диск и сухарь, вследствие чего происходит скручивание заготовки.

После начальной закрутки к трубной заготовке прикладывается продольная сила, в результате чего труба, наталкиваясь на калибрующий сухарь, сползает с оправки и скручивается на заданный угол.

Скручивание волноводных труб с размерами поперечного сечения менее 11x5,5 ведётся в приспособлении с использованием жёсткой калибрующей оправки (рис. 6).

Конец заготовки вводится в цангу, находящуюся в задней бабке, на глубину, равную длине участка, не подвергающегося скручиванию. Для предохранения волноводной

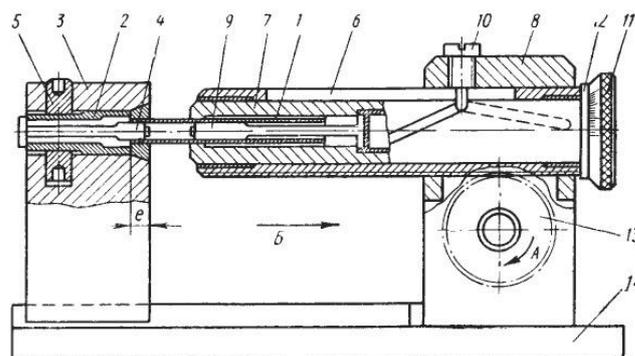


Рис. 6. Приспособление для скручивания [1]:
1) заготовка; 2) цанга; 3) задняя бабка; 4) оправка; 5) гайка; 6) пиноль; 7) шпindel; 8) передняя бабка; 9) оправка; 10) фиксатор; 11) указатель угла скручивания; 12) кольцо; 13) шестерня; 14) основание

трубы от повреждения при сжатии цанги в неё вводится оправка. Затем пиноль и шпindel перемещаются влево в исходное положение.

При повороте шестерни, находящейся в зацеплении с рейкой, нарезанной на нижней стороне пиноли, последняя перемещается вправо в направлении стрелки Б. Вместе с пинолью поступательное движение совершает шпindel, причем фиксатор, входящий в спиральный паз шпинделя, заставляет его одновременно вращаться относительно продольной оси, осуществляя скручивание заготовки [1].

Выводы

Все рассмотренные способы кручения труб дают возможность изготавливать скрученные участки волноводов, однако имеют серьёзные недостатки:

- низкую производительность труда – невозможно автоматизировать производство из-за необходимости устанавливать отдельно каждую заготовку в приспособление;
- необходимость отдельно изготавливать оправку для каждого сечения трубы;
- специфику установки оправки в заготовку.

Список литературы

1. Бушминский И.П. Изготовление элементов конструкций СВЧ. Волноводы и волноводные устройства. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1974, 304 с.
2. Авторское свидетельство СССР №573832, кл.Н01Р 11/00, 1973.
3. Мосин Ф.В. Технология изготовления деталей из труб. М.: Машгиз, 1962, 171 с.

УДК 621.7

Долгополов М.И., Корнилов В.А., Андреев М.Д.

Компьютерное моделирование гибки труб с узкозональным индукционным нагревом

В статье представлена параметрическая конечно-элементная модель гибки тонкостенных труб с узкозональным индукционным нагревом, позволяющая определять утонение стенки трубопроводов агрегатов РКТ, полученных с использованием данной технологии, в зависимости от радиусагиба, свойств материала и параметров нагрева. Основной особенностью представленной модели является высокая скорость и точность расчета, за счет моделирования деформирования только в зоне нагрева.

Ключевые слова: гибка, индукционный нагрев, узкозональный нагрев, метод конечных элементов, трубопроводы ракетно-космической техники.

Введение

В настоящее время для определения утонения при гибке с узкозональным нагревом широко применяется моделирование методом конечных элементов (МКЭ). Однако существующие модели, как правило, требуют больших вычислительных мощностей и имеют невысокую точность, так как моделируется труба и процесс гибки целиком.

В статье предлагается новый подход, основанный на том, что при гибке с узкозональным индукционным нагревом материал трубы деформируется только в узкой нагретой зоне, а геометрия будущего трубопровода формируется в момент охлаждения нагретой зоны [1, 2]. Таким образом, целесообразно при моделировании сосредоточиться только на формоизменении нагретой части трубы. Благодаря этому можно отказаться от моделирования элементов оснастки холодной части трубы, а также сложного процесса охлаждения трубы, и тем самым значительно повысив точность и скорость расчетов.

Также рассматривается моделирование гибки с поворотным рычагом – технологии, наиболее часто применяющейся для изготовления тонкостенных трубопроводов [2] в среде Ansys. Поскольку представленная модель гибки предна-

значена для определения утонения $\Delta S/S$, то допустимо пренебречь овализацией поперечного сечения трубы при гибке. Моделировалась гибка трубы 36x2 из коррозионностойкой стали 12X18Н10Т. Ширина зоны нагрева принимается равной 4 мм. Температура нагрева устанавливалась равной 700.

Расчётная модель и граничные условия

Рассмотрим начальный момент гибки (рис. 1). На изгибаемую трубу действует продольная сила, проталкивающая изгибаемую трубу вперед. При этом часть трубы, находящейся за зоной нагрева (зона 2), проталкиваясь вперед, поступает в зону нагрева и, нагреваясь, деформируется за счет поворота водила, в результате чего граничное сечение cd поворачивается относительно сечения ab . Деформации увеличиваются, пока сечение cd не достигнет границы зоны нагрева, а угол поворота сечения cd не достигнет максимального значения, определяемого радиусомгиба.

Одновременно с деформированием зоны 2, материал из зоны 3 выходит из зоны нагрева и, охлаждаясь, формирует вместе с холодной зоной 4 переходный участок. После окончания деформирования зоны 2, материал зоны 1 начи-

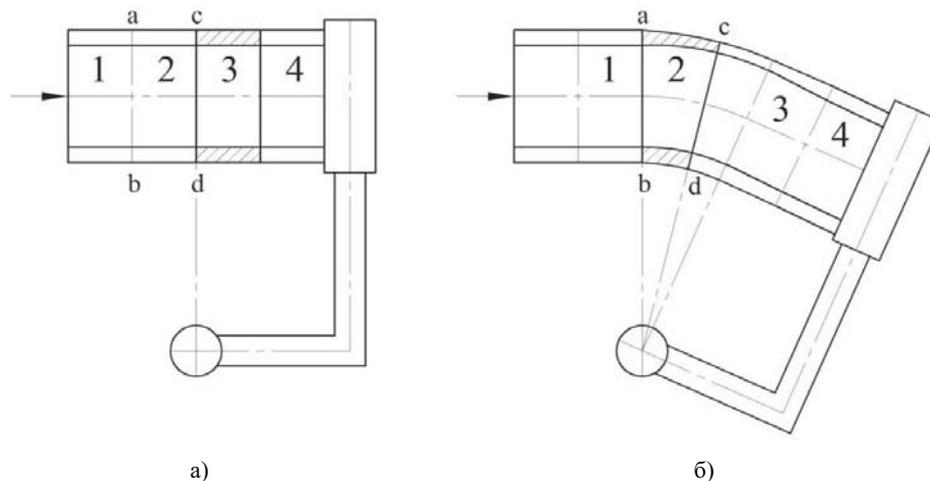


Рис. 1 Схема деформирования материала при гибке поворотным рычагом (зона нагрева заштрихована)
а) начальный момент; б) гибка в процессе деформирования

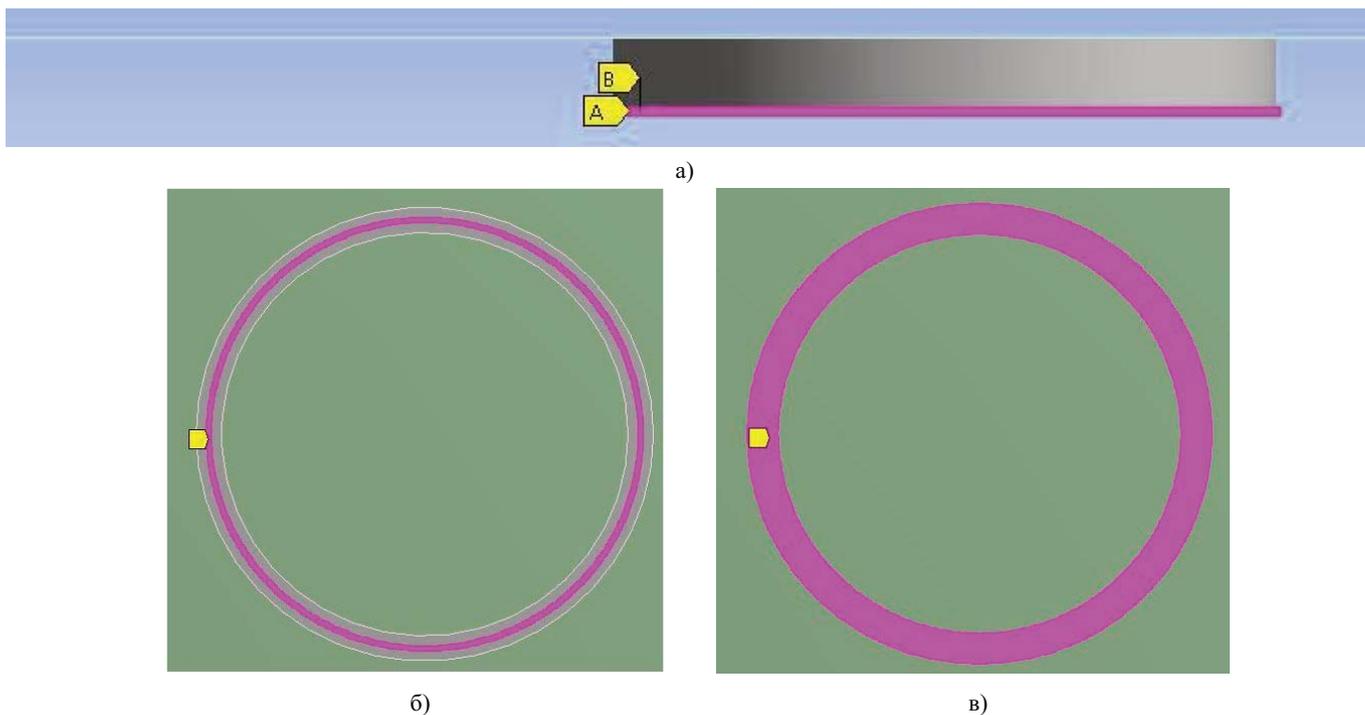


Рис. 3 Граничные условия расчетной модели:
а) общий вид; б) закрепление центра стенки трубы; в) задание перемещения торцу трубы

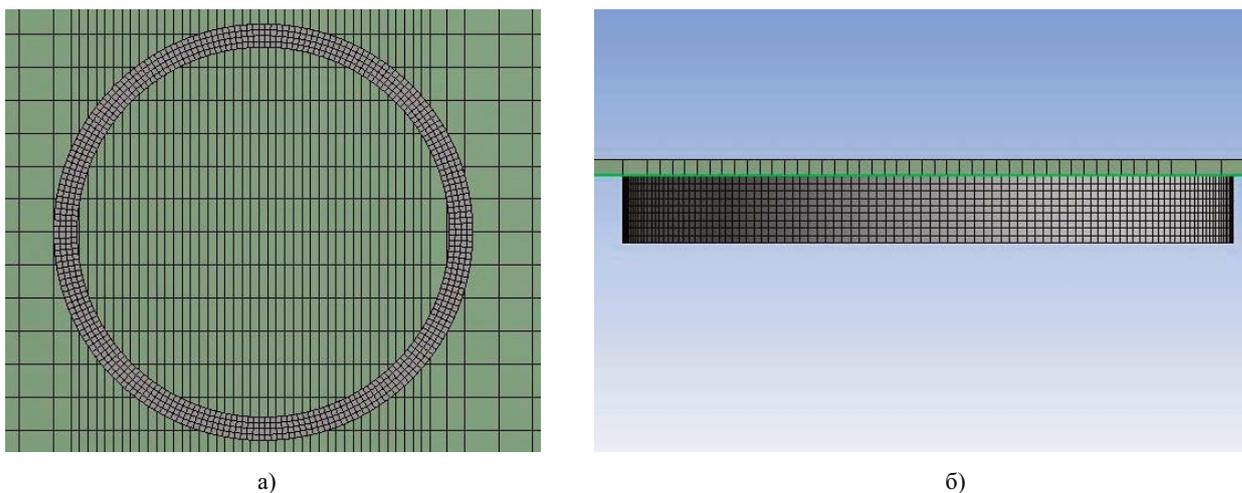


Рис. 4 Сетка конечных элементов: а) вид снизу; б) вид спереди

нает поступать в зону нагрева и деформироваться аналогично деформациям зоны 2. Материал зоны 2 при этом выходит из зоны нагрева и, охлаждаясь, формирует участок основной геометрии изогнутой трубы между зонами 2 и 3, протяженность которого увеличивается с увеличением угла гибки. Утонение стенки трубы на основном участке определяется деформациями сечения cd и не меняется при увеличении угла гибки (рис. 1). Таким образом, для определения утонения готового трубопровода на основном участке гибки достаточно моделирования деформирования зоны 2.

Действие поворотного рычага моделируется в виде плоскости, поворачивающейся на шарнире и соединённой

с торцом моделируемого участка трубы. Для моделирования действия фильеры и поперечной силы один торец трубы закрепляется в радиальном и круговом направлении, а у другого торца закрепляется только центральная часть стенки для моделирования процессов деформации стенки. В качестве основной используется система координат, связанная с вращающимся рычагом, то есть при моделировании вращающаяся плоскость является заделкой (рис. 3).

Сетка конечных элементов цилиндра состоит из объёмных 20-узловых элементов *SOLID186* размером 0,5 мм (4 элемента по толщине стенки). Плоскость поворотного рычага является жесткой оболочкой толщиной 1 мм (рис. 4).

Для задания свойств пластичности материала используется линейная аппроксимация кривой упрочнения 1 рода (*Bilinear Isotropic Hardening*):

$$\sigma = \sigma_{0,2} + \sigma_g \varepsilon \quad (1)$$

где σ_g – предел прочности; $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести.

Результаты моделирования

В результате моделирования получаем следующий вид деформированного продольного сечения моделируемой трубы (рис. 5).

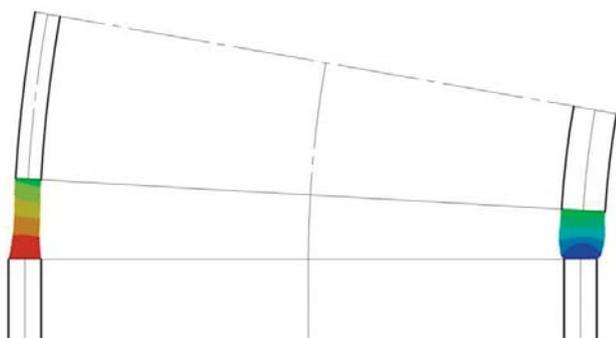


Рис. 5. Продольное сечение моделируемой трубы

Рассмотрим результаты расчета утонения $\Delta S/S$, при различных радиусахгиба. Параметризация модели позволяет в автоматическом режиме получать аппроксимирующая функцию (рис. 6).

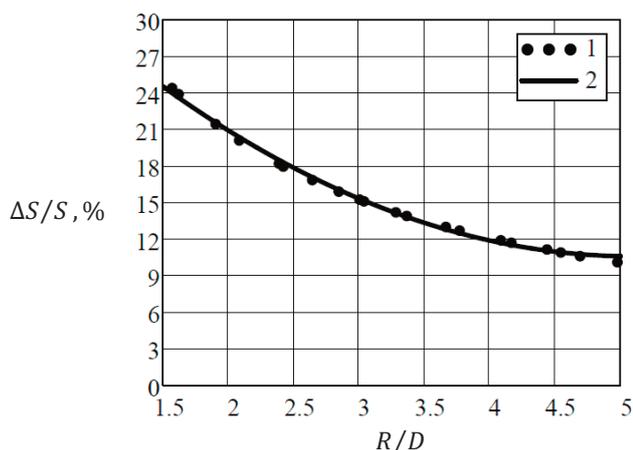


Рис. 6 График максимального относительного утонения от относительного радиусагиба:

1) результаты расчета; 2) аппроксимирующая функция

Аппроксимирующая функция максимального относительного утонения с точность до 99,7% для приведенных исходных данных имеет следующий вид:

$$\Delta S/S = 0,0115(R/D)^2 - 0,1174(R/D) + 0,413 \quad (2)$$

Сравнение с экспериментом

На станке СГИН-120 [3] проведены эксперименты по гибке труб 36x2 из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т по ГОСТ 9940-81 с помощью поворотного рычага и температурой нагрева равной 700, то есть при условиях, принятых при моделировании. Ниже показаны результаты сравнения полученных экспериментальных значений утонения стенки с результатами моделирования, для которых получена аппроксимирующая функция (2) (рис. 7).

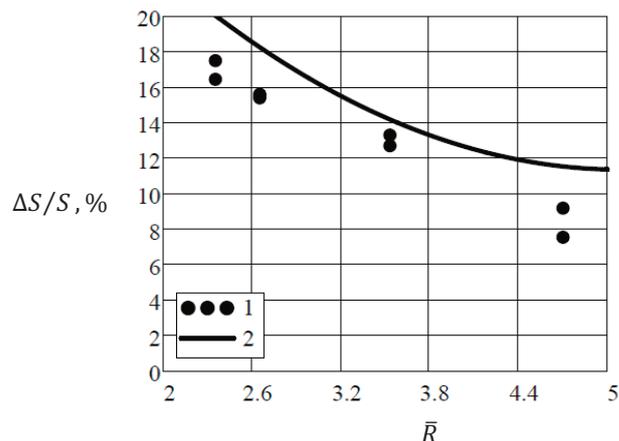


Рис. 7. Максимальное относительное утонение:

1) экспериментальные значения;
2) результаты моделирования

Таким образом, экспериментальные данные демонстрируют довольно хорошую сходимость с теоретическими значениями. Средняя погрешность составляет 7%.

Экспериментальные значения всегда меньше результатов, полученных при моделировании. Это объясняется тем, что при моделировании не учитывалась овализация поперечного сечения, которая уменьшает высоту сечения изгибаемой трубы, а, следовательно, и утонение стенки. Следовательно, представленная модель дает завышенные значения утонения (которое можно оценить величиной овализации при гибке, то есть около 5%).

Выводы

Разработанная параметрическая конечно-элементная модель гибки тонкостенных труб с узкозональным нагревом даёт возможность определить утонение стенки у изготовленного трубопровода с точностью до 7%. При этом значения утонения, полученные при моделировании, всегда превосходят экспериментальные, что позволяет применять разработанную модель при расчете реальных технологических процессов.

Список литературы

1. Альбов И.Н., Гальперин А.И. Гнутье труб с местным зональным нагревом / И.Н. Альбов, А.И. Гальперин. М.: ВНИИЭГАЗПРОМ, 1969. С. 32–50.
2. Корнилов В.А., Долгополов М.И. Изготовление трубопроводов жидкостных ракетных двигателей из труднодеформируемых и малопластичных сплавов / В.А. Корнилов,

М.И. Долгополов и др. // Наука и технологии. Том 4. Материалы XXXIV ВК, посвящённой 90-летию со дня рождения академика В.П. Макеева. М.: РАН, 2014. С. 143–151.

3. Технология гибки трубопроводов РКТ с применением узкозонального индукционного нагрева / М.Д. Андреев, М.И. Долгополов, В.А. Корнилов // Вестник «НПО «Техномаш». 2018, № 7. С. 74-77.

УДК 621.777

Емельянов В.В., Овечкин Л.М., Прусаков М.А., Захаров И.А., Вайцехович С.М.

Изготовление осесимметричных оболочковых деталей из биметаллов методом ротационной вытяжки с принудительным утонением

Представлены результаты экспериментального исследования процесса формообразования биметаллического материала методом ротационной вытяжки, а также установлена математическая зависимость для осуществления данного процесса.

Ключевые слова: биметалл; ротационная вытяжка; переутонение; переходник; эксперимент; зазор.

Применение полых осесимметричных деталей широко распространено в авиакосмической, атомной, химической и других отраслях промышленности. К данному типу деталей предъявляются жесткие эксплуатационные требования, что требует совершенствования технологических процессов их изготовления.

В ракетно-космической промышленности для соединения топливных магистралей разного проходного сечения или соединения трубопроводов и топливных баков, используются специальные биметаллические переходники. Они изготавливаются методом многопереходной листовой штамповки или сваркой трением в соответствии с отраслевым стандартом [1, 2]. Технологические процессы получения переходников в значительной мере трудоемки

и требуют применения широкой номенклатуры специализированного оборудования, что не предотвращает высокий процент брака готовых переходников.

Перечисленных трудностей возможно избежать за счет применения ротационной вытяжки (РВ) – высокоэффективной технологии получения детали последовательным пластическим формоизменением плоских или полых осесимметричных заготовок одним или несколькими давящими инструментами, перемещающимися по заданной траектории относительно оправки. Данный процесс позволяет получать осесимметричные детали различной конфигурации из труднодеформируемых и малопластичных материалов, однако следует отметить недостаточный уровень исследований по формообразованиям ротационной вытяжкой многослойных материалов, в частности биметаллов.

Также технология РВ имеет следующие преимущества и позволяет:

- снизить процент брака;
- получать заготовки из биметалла с постоянной и переменной толщиной стенки, высоким качеством поверхности и улучшенными физико-механическими свойствами;
- снизить энергосиловые характеристики технологического оборудования, отказавшись от применения уникального и дорогостоящего кузнечно прессового оборудования и сложной крупногабаритной оснастки;
- осуществить высокую степень автоматизации технологического процесса и повысить производительность.

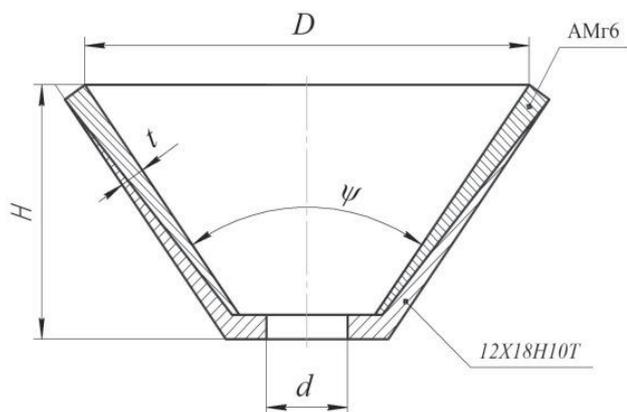


Рис. 1. Биметаллический переходник конической формы согласно отраслевого стандарта [1]

Для оценки возможности метода РВ по получению деталей из биметаллов в отделении технологии заготовительного производства ФГУП «НПО «Техномаш» проведены экспериментальные работы по формоизменению деталей указанным методом. В качестве исходного материала для проведения экспериментальных работ применялся биметаллический лист состава 12Х18Н10Т-АМг6 с суммарной толщиной пакета из двух материалов 10 мм. Толщина входящих слоев: коррозионноустойчивая сталь марки 12Х18Н10Т – 4,5 мм; алюминиевый сплав марки АМг6 – 5,5 мм; диаметр заготовки под ротационную вытяжку – 140 мм, радиус скругления давилых роликов – 18 мм; угол конуса оправки – 70°.

Экспериментальные работы по РВ проводились согласно отраслевому стандарту на типовые технологические процессы [3]. Данный стандарт устанавливает порядок технологических операций, требования к исходным заготовкам (однослойный материал), оснастке и режимам обработки при РВ с утонением стенки конических деталей и деталей с криволинейной образующей.

Рекомендуемый зазор, выставляемый между оправкой и раскатными роликами, определяется по формуле для вычисления толщины стенки заготовки после РВ согласно [3]:

$$t = t_0 \cos(\psi), \quad (1)$$

где t – толщина стенки заготовки после раскатки (зазор между оправкой и раскатными роликами), мм;

t_0 – исходная толщина заготовки, мм;

ψ – половина угла конуса оправки, градусы.

По результатам выполнения РВ биметалла выявлены недопустимые дефекты в виде нарушения адгезионной связи между слоями – расслоение, а также разрушение алюминиевого слоя. Формоизменение слоя коррозионноустойчивой стали происходило без разрушения (рис. 2). Появившиеся дефекты свидетельствуют о том, что применение рекомендаций, указанных в [3], не подходит для обработки многослойных материалов. Данный факт потребовал разработки специальных технологических режимов обработки биметаллов с учётом особенностей материалов, входящих в их состав.

Исходя из того, что в результате РВ разрушению подвергся только алюминиевый слой биметалла, решено выполнить корректировку технологических режимов обработки согласно требованиям, устанавливаемым для малопластичных алюминиевых сплавов, к числу которых относится сплав марки АМг6.



Рис. 2. Заготовка после операции ротационной вытяжки согласно рекомендаций [3]

На основании проведенных исследований и теоретических изысканий в области обработки металлов давлением [4, 5] избежать разрушения металлов возможно за счет уменьшения использованного ресурса пластичности, вследствие снижения величины показателя напряженного состояния в месте достижения предельных деформаций.

На основании полученных экспериментальных результатов установлено, что причиной возникновения трещин на алюминиевом слое являлись растягивающие тангенциальные напряжения. Для снижения величины показателя напряженного состояния в месте достижения предельных деформаций алюминиевого слоя принято решение выполнить последующие РВ с определённым расчитанным переутонением, то есть с отступлением от рекомендуемого зазора между оправкой и раскатными роликами вычисленного по формуле (1) в сторону его уменьшения. В результате расчетов, оптимальная величина переутонения для получения бездефектных заготовок, составила величину 2–3%.

По результатам проведения экспериментальных работ по РВ с указанной величиной переутонения получены качественные бездефектные детали (рис. 3).



Рис. 3. Заготовка после операции РВ с учетом переутонения

Нарушения сплошности слоёв, а также дефекты отсутствовали, что подтвердило правильность проведённых расчетов и применяемой величины переутонения.

Проведенные исследования позволили выявить зависимость для расчета оптимального зазора между оправкой и раскатными роликами с учётом переутонения, который необходимо использовать при проектировании и разработке технологического процесса РВ для получения качественных деталей:

$$t_{\text{рез}} = t - \frac{t\Delta}{100\%}, \quad (2)$$

где t – толщина стенки заготовки после раскатки вычисленная по формуле (1);

Δ – значение переутонения, %.

Выводы

Изготовление осесимметричных биметаллических переходников методом РВ является перспективным направлением, которое требует дальнейших теоретических и экс-

периментальных исследований и позволяет повысить качество получаемых деталей, существенно снизить трудоемкость их изготовления, а также отказаться от применения широкой номенклатуры специализированного оборудования.

Результаты проведённых экспериментальных работ показали возможность эффективной обработки методом РВ биметаллов состава 12Х18Н10Т-АМг6. В ходе работ получена зависимость (2) для определения величины оптимального зазора между оправкой и раскатными роликами с учётом переутонения.

Полученные результаты показывают возможность эффективной РВ биметаллических материалов, в том числе многослойных материалов с количеством слоёв больше двух.

Список литературы

1. ОСТ 92-8629-75. Соединения неразъемные стальных деталей с алюминиевыми через биметаллические переходники. Типы. Технические требования.
2. ОСТ 92-9488-81. Переходники биметаллические листовые, штампованные в криволинейных матрицах. Общие технические требования и типовые технологические процессы.
3. ОСТ 92-1634-76 Вытяжка деталей ротационная. Типовые технологические процессы.
4. Богатов А.А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А.А. Богатов, О.И. Мижирицкий, С.В. Смирнов. М.: Металлургия, 1984. 144 с.
5. Колмогоров В.Л. Феноменологическая модель накопления повреждений и разрушения при различных условиях нагружения / В.Л. Колмогоров, Б.А. Мигачев, В.Г. Бурдуковский. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. 104 с.



УДК 621.74:534.16

Ларичев Н.С., Реутов А.О., Бещеков В.Г.

О возможности применения эффекта сферодинамики в литейном производстве

В настоящее время наибольший интерес для учёных представляют исследования, находящиеся на стыке научных дисциплин.

Приказом Роскосмоса от 16.11.1999 №353 за ФГУП «НПО «Техномаш» закреплено одно из технологических направлений сферодинамического деформирования. Многолетний опыт работы в данном направлении отмечен 64 авторскими свидетельствами СССР, патентами РФ, европатентом, шестью золотыми медалями, в том числе дипломами Всемирного салона изобретений «Брюссель-Эврика». В статье предлагается анализ возможного применения эффекта сферодинамики [1] в литейном производстве.

Ключевые слова: сферодинамика, формовочные смеси.

Введение

Физический смысл эффекта сферодинамики заключается в том, что при циклических импульсных нагрузках на твердое тело, установленное на свободно размещённой опоре (сферодине) определённой формы, сферодина спонтанно переходит в состояние бесприводного источника реактивных пульсаций, временно нарушая своё первоначальное гравитационное взаимодействие с платформой, т.е. левитирует. В результате на обрабатываемое тело оказывается комплексное воздействие с двух сторон, что способствует формированию в нем механических свойств, отличных от получаемых стандартными методами обработки.

Эффект сферодинамики открыт и применён для обработки материалов давлением. Проанализируем возможность применения эффекта в литейном производстве для повышения качества изготавливаемых отливок.

Анализ возможностей применения эффекта

В отличие от обработки металлов давлением, применить эффект сферодинамики непосредственно к изготавливаемым отливкам невозможно. Это связано с тем, что в момент, когда закладываются основные эксплуатационные свойства отливки, она находится в жидком и твёрдо-жидком состоянии, а эффект сферодинамики применим к твёрдым телам. Потому для поиска возможной области применения эффекта выполнен анализ всех этапов изготовления отливок.

Технологический анализ показал, что возможной областью применения эффекта сферодинамики является изготовление основного инструмента литейщика – песчаных форм и стержней. Классический процесс изготовления литейной формы связан с механическим уплотнением песчано-глинистой смеси. В настоящее

время процессы химического упрочнения смесей позволяют получать формы большей прочностью, при этом оказываясь менее экологичными. Использование в качестве опоры сферодина с приложением циклических импульсных нагрузок позволит реализовать эффект сферодинамики в формовочной смеси, что приведет к повышению их прочности, а также позволит снизить использование более дорогих и вредных химических методов.

При этом важно отметить, что изменением свойств литейных форм можно оказывать существенное влияние на формирование служебных свойств отливки. Один из таких параметров – плотность песчаных форм и стержней. Степень уплотнения формы определяет её теплофизические характеристики, такие как плотность, теплопроводность и удельная теплоемкость. С другой стороны, управлением податливостью форм и стержней можно менять распределение термических напряжений в отливке, предотвращая образование трещин. Исследование технологических возможностей обработки формовочных смесей за счет применения эффекта сферодинамики является актуальным и позволит повысить качество литья.

Для модельного исследования применения эффекта сферодинамики к формовочным смесям следует рассмотреть формовочную смесь с точки зрения реологии. Известно, что песчано-глинистые смеси можно представить, как упруго-вязко-пластический материал. Изучение поведения реологических моделей формовочных смесей позволит на этапе теоретического исследования определить степень уплотнения литейных форм за счёт реализации эффекта сферодинамики.

Одним из вариантов модельного представления формовочной смеси является реологическая схема тела Шве-

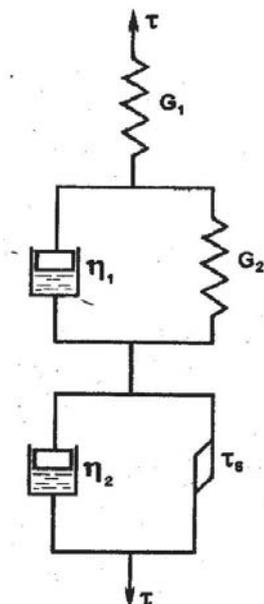


Рис. 1. Реологическая схема тела Шведова

дова (рис. 1) [2]. Изменение деформации тела Шведова от времени при постоянных нагрузках и разгрузке представлено на рис. 2.

Применение реологической модели тела Шведова к исследованию процесса уплотнения формовочных смесей позволило проводить расчеты напряженного состояния в смеси. Для выполнения реологических исследований сферодинамической обработки смесей необходимо установить зависимость деформация-время модели Шведова для разных параметров прикладываемых нагрузок.

Следует отметить, что при реализации эффекта сферодинамики нагрузки носят циклический импульсный характер, причем бесприводной источник реактивных пульсаций – сферодин, что качественно отличает изготовление литейных форм от таких известных методов упрочнения как вибрация или встряхивание. Для установления характера упрочнения смеси на всех стадиях реализации эффекта требуется проведе-

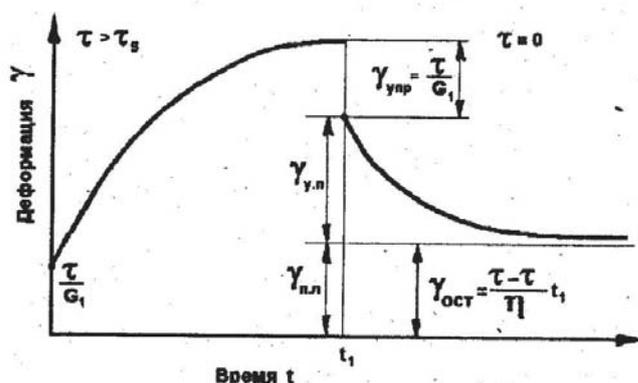


Рис. 2. Изменение деформации тела Шведова во времени

ние дополнительных теоретических и натурных исследований.

Заключение

Реализация эффекта сферодинамики при изготовлении песчаных форм и стержней может дать следующие результаты:

- получение уникального сочетания механических и теплофизических свойств смеси, способствующих повышению качества отливок;
- повышение прочностных характеристик форм и стержней, соответствующих получаемым методами химического отверждения, что позволит повысить экологичность производства.

Список литературы

1. Способ обработки материалов давлением и устройство для его осуществления. Европатент № 097/39847 МПК В21Д 37/12 / В.Г. Бещеков, В.В. Булавкин, Ю.Ф. Назаров // ВОИС, 1997.
2. Чуркин Б.С., Гофман Э.Б., Майзель С.Г. и др. Технология литейного производства: Учеб. / Под ред. Чуркина Б.С. Екатеринбург: Урал. гос. проф.-пед. ун-т. 2000. 662 с.

УДК 621.7

Ларичев Н.С.

Устранение усадочных дефектов методом распределения затруднённой усадки

Одним из способов борьбы с усадочными дефектами является распределение усадки, локализованной в одном тепловом узле, на несколько других. В целях реализации данного метода предложено в зоне действия затруднённой усадки создать дополнительные тепловые узлы, что позволили устранить усадочные дефекты из тела отливки, повысить коэффициент использования материалов и уменьшить суммарный объем применяемых прибылей.

Ключевые слова: затруднённая усадка, усадочные дефекты.

Введение

Устранение внутренних усадочных дефектов из тела отливки является одной из проблем изготовления отливок. В [1–3] показано, что фактором образования усадочных дефектов является затруднённая усадка. Для характеристики действия фактора можно воспользоваться расчётом коэффициента локализации деформации. В [3] показано, что для устранения усадочных дефектов, связанных с действием затруднения линейной усадки, необходимо увеличивать объём прибылей – большие значения коэффициента локализации требуют установки больших прибылей.

Другим методом борьбы с усадочными дефектами можно рассматривать распределение локализованной в одном тепловом узле усадки на несколько других. В целях реализации метода необходимо в зоне действия затруднённой усадки создать дополнительные тепловые узлы. В этом случае действующее значение объёмного коэффициента локализации деформации в каждом из тепловых узлов будет меньше, чем в одном исходном.

Метод распределения затруднённой усадки

Рассмотрим применение метода на примере.

Отливка-проба из стали 20 ГЛ представляет собой брус квадратного сечения толщиной $T = 12$ мм, с утолщением по центру (рис. 1) для локализации в нем деформации. С концов бруса выполнены двухсторонние полки для затруднения свободной линейной усадки. Расстояние между полками $L = 250$ мм, размер теплового узла вдоль оси действия деформации $l = 40$ мм.

Коэффициент локализации деформации в тепловом узле:

$$\gamma_V = \frac{L}{l} + 2 = \frac{250}{40} + 2 = 8,25$$

Объем теплового узла $V_0 = 31\,161,5$ мм³. Приведенный размер $R_0 = 3,78$ мм.

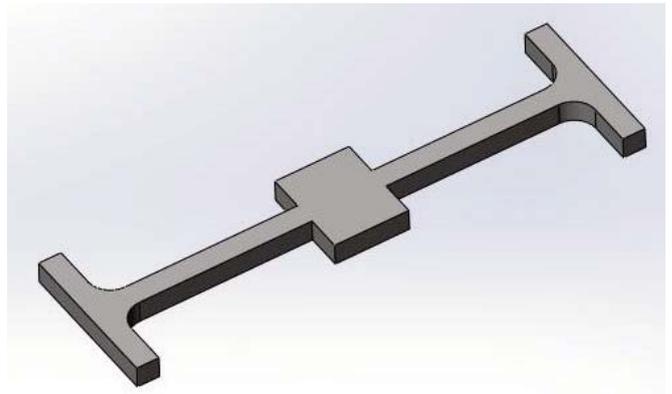


Рис. 1. Отливка-проба

Первый подход к получению плотной отливки заключается в установке одной прибыли над тепловым узлом. Объем прибыли с учетом действия затрудненной усадки:

$$V_n = \frac{\beta K_n \gamma_V}{1 - \beta K_n} V_0 = \frac{0,05 \cdot 8 \cdot 8,25}{1 - 0,05 \cdot 8} \cdot 31\,161,5 = 57\,129 \text{ мм}^3$$

Диаметр полушаровой прибыли:

$$d_n^{nu} = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi \cdot (k_g - 1/6)} V_n} = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi \cdot (1,25 - 1/6)} 57\,129} = 40,6 \text{ мм}$$

Высота прибыли:

$$H_n = k_g \cdot d_n = 1,25 \cdot 40,6 = 50,8$$

На рис. 2 представлены результаты моделирования работы прибыли. Очевидно, что прибыль устранила усадочный дефект из отливки.

Второй подход заключается в том, чтобы вместо установки одной большой прибыли, создать в зоне действия затрудненной усадки дополнительные тепловые узлы (утолщения диаметром 15 мм, приведенный размер $R_2 = 3,23$ мм), над которыми тоже будут поставлены прибыли (рис. 3).

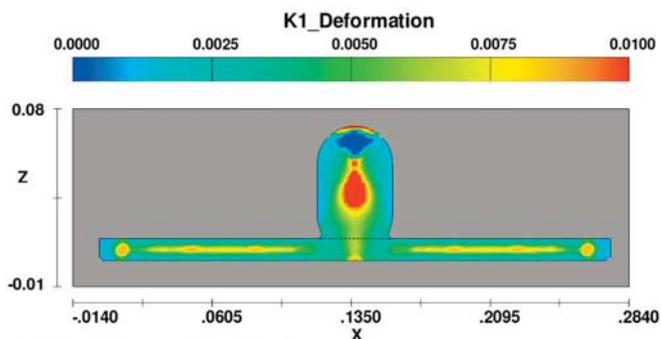


Рис. 2. Распределение значений коэффициента пористости K_1 . Пунктиром показана граница «отливка-прибыль»

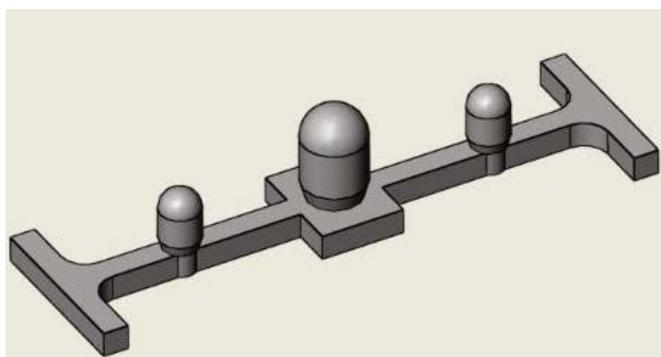


Рис. 3. Создание дополнительных тепловых узлов

В этом случае значение суммарного коэффициента локализации деформации:

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{L}{l_1 + 2l_2} = \frac{250}{40 + 2 \cdot 15} = 3,57$$

Значения коэффициентов локализации деформации по тепловым узлам:

$$\gamma_{m,y.1} = \frac{R_{m,y.1}^2}{R_{m,y.1}^2 + 2R_{m,y.2}^2} \cdot \gamma_{\Sigma} + 2 = 3,45$$

$$\gamma_{m,y.2} = \frac{R_{m,y.2}^2}{R_{m,y.1}^2 + 2R_{m,y.2}^2} \cdot \gamma_{\Sigma} + 2 = 3,06$$

Согласно полученным данным, рассчитаны полушаровые прибыли:

1. Для центрального теплового узла:

$$d_1 = 30,4 \text{ мм}; H_1 = 38,0 \text{ мм}; V_1 = 23\,890 \text{ мм}^3.$$

2. Для дополнительных тепловых узлов:

$$d_2 = 19,5 \text{ мм}; H_2 = 24,3 \text{ мм}; V_2 = 6282 \text{ мм}^3.$$

Результаты моделирования представлены на рис. 4. Усадочные дефекты выведены в прибыли. Это говорит о том, что предложенный метод распределенной усадки дал положительный результат.

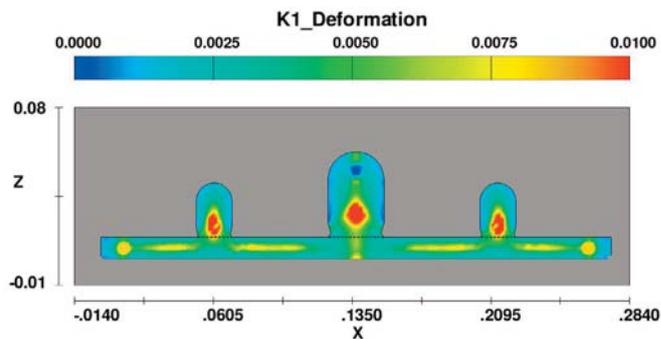


Рис. 4. Распределение значений коэффициента пористости K_1 . Пунктиром показана граница отливка-прибыль

Сравним суммарные объёмы полученных прибылей:

Первый вариант: $\Sigma V_{\text{п}} = 57\,129 \text{ мм}^3$.

Второй вариант: $\Sigma V_{\text{п}} = V_1 + 2 \cdot V_2 = 23\,890 + 2 \cdot 6282 = 36\,454 \text{ мм}^3$.

Таким образом, предложенный метод позволил не только устранить усадочные дефекты из тела отливки, но и уменьшить суммарный объем применяемых прибылей.

Вывод

Расчёты показали, что применение метода распределённой усадки позволяет устранить усадочные дефекты из отливки и повысить коэффициент использования металла, уменьшив объем прибылей.

Список литературы

1. Ларичев Н.С. Влияние деформированного состояния на расчёт пористости в отливках // Литейщик России. 2015. №10. С. 39-43.
2. Ларичев Н.С и др. Оценка влияния затруднённой усадки на образование пористости в отливках // Литейное производство. 2016. №7. С. 10-15.
3. Ларичев Н.С. Особенности затвердевания стальных крупногабаритных корпусных отливок // Вестник «НПО «Техномаш», М., 2018. №7. С. 59-63.



◆ ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЙ И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

УДК 620.163.29(063.74)

Кологов А.В., Новицкая К.А., Кулик Ю.П., Барышников В.И.

Российские жидкостные межконтинентальные баллистические ракеты – наш асимметричный привет Пентагону

В статье рассматриваются исторические аспекты создания в СССР жидкостных ампулизованных межконтинентальных баллистических ракет. Анализируется превосходство жидкостных ракет над твёрдотопливными. Особо отмечаются достижения в обеспечении степени герметичности топливных систем для получения длительных сроков их боевого дежурства. Прослеживается преемственность технологий изготовления и уроки эксплуатации ампулизованных ракет первого, второго и третьего поколений.

Ключевые слова: межконтинентальные баллистические ракеты, ракеты на жидком топливе, контроль герметичности, жидкостные пневмогидросистемы, обеспечение жизненного цикла, оценки технических рисков создания современных ракет.

В истории СССР долгое время надежды на создание ракетного оружия, способного доносить атомные заряды до территории вероятного противника, военные связывали с руководителем ракетного Совета главных конструкторов С.П. Королевым. Первой советской боевой межконтинентальной ракетой-носителем (РН) стала жидкостная кислородно-керосиновая ракета Р-7, конструкции Д.И. Козлова (рук. С.П. Королев). Она устанавливалась в незаправленном состоянии на открытой стартовой позиции ракетного полигона. Время подготовки такой ракеты к запуску исчислялось часами.

К 1959 г. у Вашингтона уже имелось 20 межконтинентальных баллистических ракет (МБР) «Атлас», развернутых на тихоокеанское побережье США.

В дальнейшем стало понятно, что упорство С.П. Королева в применении кислородно-керосиновых двигателей для создания боевых ракет, завело страну в тупик. В срочном порядке принимается постановление Правительства СССР о строительстве завода «Южмаш» в Днепропетровске для выпуска РН на высококипящих компонентах топлива. Главным конструктором ракет стал М.К. Янгель.

К концу 1960 г. в СССР установили на боевое дежурство несколько РНР-14 с дальностью 2000 км.

В 1962 г. в США было уже 294 МБР, а в СССР около 30 межконтинентальных ракет Р-16, производства «Южмаш». Жидкостные ракеты первого поколения в заправленном виде могли находиться в шахте недолго, после чего ракету надо было либо запускать, либо она приходила в негодность. Для поддержания одной ракеты в заправленном состоянии (готовность №1), требовался один полк солдат. И это уже была определённая победа нашей обороны!

Затем появилась разведывательная информация, что США вынуждены снимать ракеты с побережья по причине выявляемых случаев негерметичности топливных систем, усугубляемых морским воздухом.

В 1963 г. В.Н. Челомей предложил эскизный проект лёгкой ампулизованной МБР 8К84 со сроком боевого дежурства в несколько лет. Она не требовала значительных материальных и человеческих ресурсов при эксплуатации. Герметизация ракеты в транспортно-пусковом контейнере гарантированно защищала её от атмосферных воздействий. Это был настоящий прорыв.

В начальном периоде конструкторское бюро М.К. Янгеля являлось монополистом в разработке РН для Министерства обороны, но, после передачи заказов В.Н. Челомею, стало бороться за свою долю в финансировании. Был объявлен конкурс на разработку лучшей ампулизованной ракеты. Соревнование разрешилось следующим образом: В.Н. Челомею поручили разработку МБР лёгкого класса (15А15), с массой порядка 100 т, а М.К. Янгель отвечал за выпуск тяжёлой МБР (15А14), с массой порядка 200 т. Таким образом, СССР получил две школы разработчиков, что в результате жесточайшей конкуренции привело к появлению лучших в мире жидкостных ампулизованных ракет. Американцы тоже начали работы по созданию ампулизованных МБР, но затем, в связи с многочисленными неудачами, данный вид работы был свёрнут.

С 1965 по 1970 гг. в СССР специально созданным Министерством общего машиностроения (МОМ) изготовлено и поставлено на боевое дежурство около 1000 МБР. В 1972 г. их было уже 1300. Советские ракеты были менее точны и

не столь технологичны, как американские, но главную задачу они выполнили, теперь пришло время переводить количество в качество.

В дальнейшем США и СССР окончательно разошлись в выборе типа боевых ракет. СССР исторически продолжал совершенствовать ракеты на жидком топливе, а в США достигли прогресса в создании мощных твёрдотопливных двигателей, и все последующие американские боевые ракеты конструировались исключительно как твёрдотопливные. Таким ракетам требуется мало времени для подготовки к старту, что для боевых ракет имеет первостепенное значение. Все американские МБР могли стартовать через 30 секунд после поступления команды.

С другой стороны, жидкостные ракеты имели важное преимущество. Забрасываемый ими «относительный» вес был значительно выше, что давало возможность не только размещать на ракетах более мощные заряды (до 25 МТ), а также комплексы прорыва противоракетной обороны (ПРО) противника. Этот исторический выбор закрепил за Россией возможность выпуска стратегически важных ракет, конструктивно опережающих возможные аналоги противника!

Во втором поколении советских МБР стало возможным хранение заправленной ракеты на протяжении нескольких лет, а время готовности к запуску сократилось до 5 минут. Ракеты третьего поколения, созданные в СССР в конце 70-х, фактически решили проблему их длительного хранения в боеготовом состоянии. Они могли стоять на дежурстве более 10 лет, а стартовать через 1–2 минуты после команды, что вполне отвечало требованиям того времени.

Появление в начале 80-х годов в США новых высокоточных баллистических и крылатых ракет обозначило необходимость дальнейшей модернизации отечественных ракет как оборонительного, так и наступательного характера. На свет появились настоящие шедевры советского ракетостроения, размещаемые в защищённых шахтных пусковых установках (ШПУ), список которых венчали знаменитые 15А18 и 15А35. Кстати, именно эти ракеты США хотели «сократить» в первую очередь. Президент России Борис Ельцин даже согласился уничтожить все ракеты этого класса до конца 2001 г. Но не успел...

Возможность создания высокоточных отечественных ракет на твёрдом топливе существенно снизило издержки производства. Конечно, производя такие шедевры как «Тополь», «Ярс» и «Булава», Россия не могла рассчитывать на стратегический паритет, но вопросы экономики и лоббирования интересов некоторых разработчиков оказались

выше. Ничего выдающегося у этих ракет нет, кроме более высокой экологичности, быстрого старта и возможности мобильного размещения.

Однако ракетный центр им. В.П. Макеева не собирался сдавать завоёванные позиции и преподнёс приятный сюрприз, разработав МБР четвёртого поколения, – по оценкам американских специалистов, «лучшую в мире жидкостную ампулизованную ракету для подводных лодок».

Разработчики Р29 РМУ2 понимали, что применение ракет на твёрдом топливе идентичных характеристик потребует от подводной лодки большего водоизмещения, больших габаритов для размещения ракетных шахт, меньшей скрытности и большей шумности. Кроме того, жидкостные ракеты имеют значительно большие возможности по преодолению ПРО противника.

Поклонники твёрдого топлива не сдавались, появились даже проекты замены традиционно жидкостной 2-й ступени ракет отечественных комплексов ПРО на твёрдотопливную. Однако здравый смысл восторжествовал, а оценка рисков невыполнения поставленных задач одной ракетой, вернула всё на круги своя. В целом следует признать, что российские специалисты уже догнали США по совершенству твёрдотопливных ракет. По жидкостным межконтинентальным ракетам отрыв России никем не ставится под сомнение. Именно они сегодня и в будущем составляют главную угрозу для США.

С распадом СССР возможность поддержки эксплуатации украинских ракет разработчиком значительно уменьшилась. Сегодня только ракеты В.Н. Челомея достойно несут боевое дежурство в течение 37,5 лет с момента заправки топливом. Со временем они будут сняты с боевого дежурства. Сейчас мы понимаем, что только достаточное количество жидкостных ампулизованных ракет, размещённых в защищённых ШПУ, с новейшими системами преодоления ПРО потенциального противника, могут охладить разгорячённые головы американских «ястребов».

Несмотря на выдающиеся результаты разработки жидкостных ракет, производство ампулизованных РН остаётся технологически весьма сложным делом. Конечно, компоненты топлива типа «амил» и «гептил» весьма токсичны. Но они дают ракетным комплексам, кроме высокой энергетической отдачи и другие особые преимущества – сохранность качества топлива в течение очень большого времени; возможность «миномётного» пуска РН; обеспечение запуска двигателей под водой; создание вытеснительных систем подачи топлива; обеспечение многократного включения двигательной установки (ДУ) как в атмосфере, так и в космосе.

На базе первых ракет 8К84 в линейке УР-100 постепенно выросло целое семейство МБР: 15А20, 15А30, 15А35. На них решены задачи производства высокоточных, очень надёжных изделий, простых в эксплуатации, защищённых от противодействия противника и сохраняющих свои параметры на десятки лет. За счёт уникальных свойств компонентов топлива обеспечено боевое дежурство в неотапливаемых шахтных пусковых установках при температурах от минус 40°С до плюс 40°С.

В процессе многолетнего выпуска линейки УР-100 решено огромное количество технологических задач, в том числе и, одна из ключевых задач, – получение достаточной степени герметичности пневмогидравлических систем (ПГС) для обеспечения боевого дежурства в течение десятков лет. На предприятиях созданы и отработаны эффективные масс-спектрометрические способы контроля герметичности, которые вошли в отраслевые стандарты и ГОСТ 28517-90 «Масс-спектрометрический метод течеискания. Общие требования». Ключевым моментом является контроль суммарной герметичности способом общего вакуумирования в вакуумной камере.

Вакуумные камеры в России строились всегда по типовым проектам, где определяющими являлись объём камеры, время выхода на режим, рабочий вакуум, газовая нагрузка и т.п. Для производителя важным было смонтировать огромное количество дорогих металлоконструкций, преимущественно из коррозионностойкой стали; затем подключить расчётное количество весьма дорогих средств создания и поддержания нужного вакуума; присоединить какие-то средства течеискания, по стоимости несоизмеримые с основными затратами. Такой подход порочен в своей основе, так как обеспечением вакуумной камеры средствами течеискания, как правило, занимался сам потребитель, не имея возможности влияния на основной проект.

Вакуумная камера, предназначенная для контроля степени герметичности конкретных объектов ракетно-космической техники, должна проектироваться исключительно для использования по основному назначению.

Любой универсализм или совмещение функций приведёт к потерям в пороге чувствительности к потоку гелия, что скомпенсировать в дальнейшем будет практически невозможно.

В качестве примера можно привести создание в 1968 г. заводом им. М.В. Хруничева вакуумной камеры собственной разработки и изготовления (рис.1). Камера объёмом 160 куб. м, предназначалась специально для контроля степени герметичности баков и блоков РН линейки УР-100.

При разработке конструкции и технологии изготовления применялись известные на то время приёмы для улучшения чувствительности и возможностей метрологии течеискания:

- вакуумная камера имеет конструкцию с горизонтальным расположением основной оси;
- внутренние поверхности камеры зачищены от следов окалины и отшлифованы абразивным инструментом без применения различных жидкостей и паст;
- откатная крышка камеры имеет двухбарьерное уплотнение, с откачкой межбарьерной полости вакуумным насосом;
- уплотнения крышки выполнены из вакуумной резины 14Р23 и уложены в пазы, обеспечивающие перераспределение объёма резины при сжатии;
- при вакуумировании камеры фланец крышки ложится на шпангоут камеры, разгружая уплотнение от излишнего пережатия;
- откатная тележка выполнена из коррозионностойкой стали, с электрополировкой её основных частей;
- вместо резиновых вакуумных уплотнений в агрегатах применён полиэтиленовый пластикат (ПОК);
- течеискатель типа ПТИ используется с замораживанием его азотной ловушки;
- рабочий вакуум в камере 10^{-5} мм рт. ст. обеспечивает малую постоянную времени течеискания;
- порог чувствительности канала течеискания по гелию, с типовым изделием, составляет порядка 10^{-9} м³Па/с (10^{-5} л мкм рт. ст/с);
- низкий вакуум в камере обеспечивается масляными механическими насосами, средний вакуум – двухроторными насосами Рутса, высокий вакуум – пароструйными насосами с силиконовой рабочей жидкостью и ловушками с водяным охлаждением;

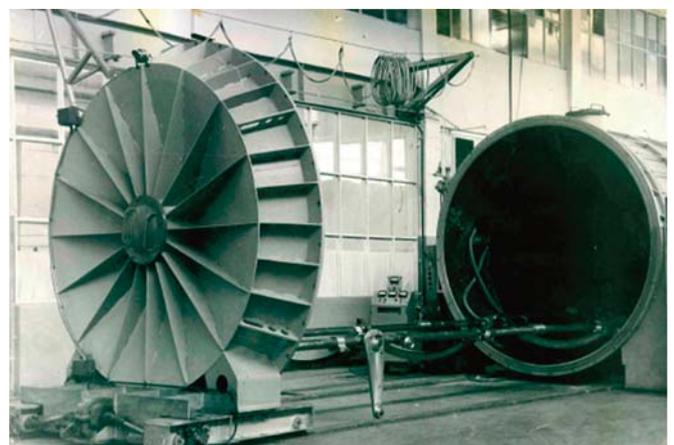


Рис. 1. Вакуумная камера объёмом 160 м³ для контроля степени герметичности баков и блоков УР-100

– метрологические характеристики течеискания в камере обеспечиваются ведомственной аттестацией и поверкой течеискателя. Госповерка с отраслевой рекалибровкой контрольных течей позволяет иметь погрешность в измерении потока пробного газа от объекта испытаний не более $\pm 20\%$;

– подключение контрольной течи на камеру осуществляется только после предварительной откачки её полости вакуумным насосом, что впоследствии закреплено ГОСТ Р 53177-2008 «Определение характеристик масс-спектрометрического метода течеискания»;

– стабилизация рабочей точки течеискания по входному потоку осуществляется с помощью азотного натекателя, подключённого к автомату стабилизации вакуума;

– вакуумирование полостей объектов испытаний производится мощным многолопастным вакуумным насосом с предельным вакуумом $5 \div 7$ мм рт. ст.;

– концентрация гелия в контрольном газе регистрируется газоанализатором с записью на бумажную ленту.

Сушка баков и блоков для освобождения каналов течей от конденсируемой влаги осуществлялась по стандарту отрасли, односторонним внешним вакуумированием в той же камере при комнатной температуре с заполнением полостей баков рабочим давлением воздуха.

По окончании сушки и готовности канала течеискания полости объекта испытаний вакуумируются до остаточного давления $5 \div 10$ мм рт. ст., а затем заполняются гелиево-воздушной смесью (ГВС) через специальные смесители до рабочих давлений. Текущие показания течеискателя при калибровке канала течеискания и заполнении баков ГВС записываются на бумажную ленту самописца, которая затем прикладывается к технологическому паспорту изделия.

Таким образом, текущая герметичность объекта испытаний контролируется в процессе всего времени нарастания давления гелиево-воздушной смеси до рабочих значений.

По окончании испытаний ГВС из полостей объекта сбрасывается в дренаж, остатки эвакуируются с помощью вакуумного насоса, а затем полости изделия заполняются воздухом до атмосферного давления.

В процессе изготовления топливных пневмогидросистем (ПГС) особое внимание уделялось отсутствию возможности контакта обрабатываемых поверхностей в процессе производства с веществами, способными закупоривать каналы возможных течей на период контроля герметичности:

– смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ) металлорежущих станков;

– потожировые выделения человека;

– лакокрасочные покрытия, наносимые до контроля герметичности;

– поверхностно-активные вещества (ПАВ), мыльные растворы и пинетранты, используемые на производстве;

– размещение столовых и разделок в отдельном бытовом корпусе.

Единственный неизбежный контакт внутренних полостей ПГС с жидкостью предусматривается при гидроиспытаниях на прочность и весовой тарировке баков. Определено, что стандартный раствор хромпика, применяемый при таких работах, после высыхания в канале течи с условным диаметром 1 мкм, снижает проводимость канала на $1,5 \div 2\%$.

Существует теория, что закупоренный жировыми загрязнениями канал течи можно вскрыть только путём обработки поверхности баков хладонами. Однако при соотношении длины канала к его диаметру порядка $3000 \div 5000$ это представляется маловероятным. Современные требования к степени герметичности повышают данное соотношение до $4000 \div 6000$, для эквивалентного диаметра канала течи – не более 0,7 мкм.

При производстве ампулизованных ракет первого, второго и третьего поколений хладоны в отечественной промышленности вообще не применялись, а ракеты до сих пор стоят на дежурстве. Кроме того, на технологию подготовки баков к контролю герметичности потребуется дополнительное количество хладонов. Согласно Киотскому протоколу, для России и других стран есть ограничения на использование всяких веществ, влияющих на озоновый слой Земли. Приводимый авторами теории тезис, что в старых ракетах не применялись двигательные установки, «утопленные» в конструкции баков, не выдерживает никакой критики. Только эффективная защита поверхностей от загрязнений при производстве гарантирует вскрытие микронеплотностей при стандартной сушке, так как в них остаётся лишь конденсируемая из атмосферы влага.

Следует отметить, что контроль степени герметичности одной ступени в вакуумной камере допускал присутствие единственной микротечи с условным диаметром канала не более 1 мкм или нескольких течей эквивалентной проводимости. Если допустить наличие двух таких течей, по одной на каждую ступень, то легко можно подсчитать время боевого дежурства заправленной РН, до получения предельно допустимой загазованности контейнера как по горючему, так и по окислителю. Несмотря на это в ТУ1 для линейки РН УР-100 записано категоричное требование: «все обнаруженные утечки подлежат



устранению», что в дальнейшем подтвердило свою актуальность.

Для руководителей некоторых предприятий данное требование представляло очень большие трудности, так как отыскать локальными методами контроля течь такого порядка на собранном баке или блоке задача очень сложная. Особенно отличались этим Оренбургский «Машзавод» и Днепропетровский «Южмаш», где число ракет, снятых по причине недостаточной степени герметичности, приближалось к двум десяткам по каждому предприятию.

Следует отметить, что процедура уточнения причины снятия изделия с боевого дежурства весьма щекотлива и длительна по времени:

- военная часть сливает компоненты топлива обратно в заправщики и удаляет ракету из шахты;
- ракета транспортируется на специальную площадку, где остатки компонентов топлива нейтрализуются с помощью озона. Эта операция не только дорогая, но и весьма длительная;
- очищенная ракета поступает на завод-изготовитель, где его специалисты пытаются найти место течи, не расчленяя собранной ракеты;
- после нахождения места течи, оцениваются её параметры для получения подтверждения, что это единственная течь;
- завод-изготовитель устанавливает причину образования данной течи и объясняет прецедент её пропуска при штатном контроле герметичности.

На следующем этапе собирается специальная комиссия, которая рассматривает представленные изготовителем ракеты материалы по определению причины брака. Рассматриваются вопросы о влиянии единичного брака на задел изготовленных изделий и назначаются мероприятия по исключению допущенных недостатков в дальнейшем.

Период времени от снятия ракеты с дежурства до рассмотрения причины брака, определения влияния его на задел и выбора мероприятий по недопущению недостатков в дальнейшем, может составлять от нескольких месяцев до полугода. Всё это время заказчик не принимает новые изделия из задела; производство не знает, что ему делать и работает на склад; а впереди, предполагается штраф за поставку недоброкачественной продукции и разборки на высшем уровне.

Приведённый пример показывает, что технология изготовления РН, подготовка к контролю герметичности и сами испытания в вакуумной камере должны быть не

только детально проработаны, но и находиться под постоянным особым контролем.

Количественный и качественный анализ течей, выявленных на предварительных этапах контроля герметичности деталей и сборочных единиц (ДСЕ), должен приводить к жёсткой обратной связи на производстве.

Учёт мест появления единичных микродефектов герметичности приводит к предложениям об изменении технологии контроля герметичности, замене материала деталей на более качественный, применению новых режимов формообразования и сварки и т.п., из чего необходимо особо отметить следующее: применение только автоматической сварки; настройка сварочных машин по образцам; применение металлов вакуумной плавки; формообразование поверхностей сложной кривизны способом горячей штамповки; применение горячекованных заготовок; гибка трубопроводов с наполнением водой и замораживанием жидким азотом; удаление на РН карманов, плохо прокачиваемых в вакуумной среде; односторонняя механическая обработка листового АМгб для сохранения лакированного слоя и др.

Учитывая важность производства РН с большим сроком эксплуатации, в 1982 г. в МОМ создан координационно-методический Совет по обеспечению герметичности. В него вошли 44 специалиста, наиболее сведущих в этой области производства. Решения и рекомендации Совета были обязательными для выполнения на всех предприятиях отрасли.

Достижения советских конструкторов, заложивших огромные возможности в последние МБР России, позволяют этому виду вооружения до сих пор оставаться грозным оружием, которое будет таковым ещё не одно десятилетие.

Список литературы

1. Бухштаб А.И., Виноградов М.Л., Шульженко Г.В. Проблемы контроля герметичности аэрокосмической техники // Аэрокосмический курьер, №3–4 (81). 2012.
2. Соловьёв В.Н., Барышников В.И. Высокочувствительный метод контроля герметичности крупных изделий в полевых условиях. Вестник «НПО «Техномаш». №1. С. 32.
3. ОСТ 92-1527-89, Способы испытаний на герметичность с применением масс-спектрометрических течеискателей.
4. Кулага Е.С. От самолётов к ракетам и космическим кораблям. М.: Воздушный транспорт. 2001, 232 с.
5. Интернет-журнал. Армейский вестник, army-news.ru.

УДК 629.76.036

Кологов А.В., Усов Г.Л.

Моделирование краевых условий в системах питания жидкостных ракетных двигателей

В статье приведён один из методов решения уравнений неустановившегося движения жидкости в круглом трубопроводе и представлен ряд физико-математических моделей процессов в системах питания жидкостных ракетных двигателей.

Ключевые слова: двигатель, система питания, трубопровод, давление, расход, дифференциальные уравнения, характеристика.

Быстродействие срабатывания клапанов, установленных на топливных магистралях, в период запуска-окончания работы, необходимость регулирования режима работы жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) или его агрегатов, являются причиной возникновения неустановившегося течения и изменения количества движения жидкой среды, что может привести к существенным колебаниям параметров. Возникающие при этом пики давления и градиенты изменения расхода компонента топлива проявляются в виде гидравлических ударов и влияют не только на процесс движения жидкости, но и на прочностные характеристики конструкции. Кроме того, если питание двигателей осуществляется из одного общего трубопровода, то изменение режима работы одного двигателя или нескольких с различным временем работы клапанов может привести к возникновению колебаний параметров в магистралях с нежелательным изменением фазово-частотных характеристик каждой магистрали, приводящим к пульсационным явлениям, что оказывает влияние и на частотные характеристики всего изделия в целом.

Нестационарным колебательным процессам в системах питания можно дать объяснение при рассмотрении следующей картины.

Пусть в начальный момент времени ($t=0$) произошло мгновенное закрытие клапана, установленного в расходной магистрали на некотором расстоянии l от бака в сечении 2-2, причем до этого момента давление равнялось P , а скорость жидкости – W . В этот момент времени останавливаются слои жидкости, прилегающие к клапану, и сжимаются поступающими соседними слоями. Сжатие сопровождается увеличением давления на значение DP . Такая последовательная остановка слоев жидкости и её сжатие на значение DP распространяется по трубе от клапана в сторону бака к сечению 1-1 со скоростью распространения малых возмущений a . Последовательная послонная остановка продолжается до тех пор, пока она не захватит слой, непосредственно прилегающий к баку. К этому моменту

вся жидкость останавливается и по трубе устанавливается повышенное (ударное) давление. При этом часть жидкости из бака войдет в трубопровод, заполняя освободившееся пространство при сжатии. Так как давление в баке имеет определенное неизменное значение, то в последующий момент жидкость в трубопроводе начнет расширяться. Сначала расширяются слои у бака, приходя при этом в движение в обратном направлении (в сторону бака), затем этот процесс последовательно охватывает и остальную массу жидкости, причем при расширении падает давление. Время движения первой положительной волны повышения давления от клапана к баку будет очевидно равно l/a ; таким же будет время прохождения волны расширения.

Поскольку в момент прохождения волны расширения падение давления происходит на величину DP , скорость жидкости будет равна первоначальной, но направлена в противоположном направлении. Следовательно, к моменту $t=2 \cdot l/a$ заключенная в трубе масса жидкости приобретет всюду начальные объем и давление, находясь, однако в состоянии движения со скоростью u в сторону от клапана. Повторяя рассуждения, приведенные для первоначального момента времени, приходим к заключению, что в момент $t=2 \cdot l/a$ давление на клапан должно понизиться на величину DP . Понижение давления, сопровождаемое остановкой жидкости, распространяется вверх от клапана и в момент $t=3 \cdot l/a$ достигнет бака. Поскольку в этот момент в трубопроводе давление на величину DP ниже, чем в баке, то вновь начнется движение жидкости в сторону клапана со скоростью u и к моменту $t=4 \cdot l/a$ вся жидкость будет в первоначальном состоянии.

Все вышеизложенное характеризует ситуацию, возникающую при мгновенном срабатывании агрегатов, что на практике случается не всегда. В общем случае, когда время работы конечно, для анализа и исследования нестационарных процессов следует использовать уравнения движения, отражающие реально физическую картину явления, которые для сплошной жидкости, находящейся в круглом тру-

бопроводе площадью f при определении давления P и расхода G в одномерной постановке могут быть записаны в виде (с учетом приведенного коэффициента сопротивления λ):

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial \tau} + \frac{a^2}{f} \cdot \frac{\partial G}{\partial x} &= 0, \\ \frac{1}{f} \cdot \frac{\partial G}{\partial \tau} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\lambda}{2d\rho} \cdot \left(\frac{G}{f}\right)^2 &= 0. \end{aligned}$$

Известно, что применение аналитических методов исследования к такой системе и явное представление решения в виде рядов или интегралов практически невозможно. В настоящее время аппарат математической физики, базирующийся на классических методах решения (метод Фурье, метод распространяющихся волн и т.д.) или на методах теории функций комплексного переменного применим лишь к ограниченному кругу задач. В их число входят либо явления, описываемые линеаризованными уравнениями с относительно простыми краевыми условиями, либо изоэнтропические течения среды и автомодельные движения, когда параметры, характеризующие состояние и движение среды, меняются так, что распределение любого из этих параметров по пространственным координатам остается подобным самому себе при изменении времени, при этом решение определяется интегралом системы уравнений не в частных, а в полных производных.

Очевидно, к этому классу явлений не относятся закономерности рассматриваемой физико-математической модели процессов в системе питания ЖРД. Поэтому вполне естественным кажется применение приближенных методов, с помощью которых можно получить таблицу значений решения в некоторых точках пространства в заданные моменты времени работы системы.

В данном случае для решения уравнений движения жидкой сплошной среды используется хорошо известный метод характеристик, позволяющий преобразовать уравнения движения в следующие дифференциальные соотношения [1]:

$$\left. \begin{aligned} dP + \frac{a}{f} dG + dx \left(\frac{\lambda}{2g \cdot \rho \cdot f^2 \cdot d} G^2 \right) &= 0, \\ dP - \frac{a}{f} dG - dx \left(\frac{\lambda}{2g \cdot \rho \cdot f^2 \cdot d} G^2 \right) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

которые справедливы на двух направлениях

$$\left. \begin{aligned} ad\tau - dx &= 0, \\ ad\tau + dx &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для численного решения используется метод Массо, в основе которого лежит замена дифференциальных урав-

нений характеристиками соответствующими конечно-разностными уравнениями.

Суть метода конечных разностей состоит в том, что в рассматриваемой области плоскости x, τ вместо непрерывной среды вводится ее разностный аналог, а дифференциальные уравнения заменяются соответствующими алгебраическими конечно-разностными соотношениями. При этом область непрерывного изменения аргументов x и τ заменяется дискретным множеством точек, являющимся областью определения функции дискретного аргумента. Для этого в плоскости x, τ рассматриваются две близкие точки с координатами $(x_1, \tau_1), (x_2, \tau_2)$.

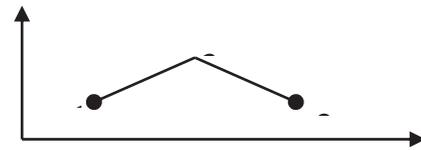


Рис. 1. Направления характеристик

Пусть в этих точках известны значения искомых функций P и G . Значения этих функций в точках 1 и 2 есть P_1, G_1, P_2, G_2 .

Через точку 1 проводится прямая в направлении характеристики первого семейства характеристик (1), а через точку 2 – прямая в направлении характеристики второго семейства. Эти прямые пересекутся в некоторой точке 3. Координаты x_3, τ_3 этой точки являются решением системы

$$\left. \begin{aligned} (x_3 - x_1) &= a(\tau_3 - \tau_1), \\ (x_3 - x_2) &= a(\tau_3 - \tau_2), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Уравнения (3) получаются из уравнений направления характеристик в точках 1 и 2 заменой входящих в них дифференциалов конечными разностями. Заменяя дифференциалы, входящие в дифференциальные соотношения на соответствующих характеристиках конечными разностями, получим систему уравнений для определения значений P и G в точке 3:

$$\left. \begin{aligned} P_3 - P_1 + \frac{a}{g \cdot s} (G_3 - G_1) + (x_3 - x_1) \cdot \left[\frac{\lambda \cdot (G_1)^2}{2g \cdot \rho \cdot f^2 \cdot d} \right] &= 0 \\ P_3 - P_2 - \frac{a}{g \cdot s} (G_3 - G_2) + (x_3 - x_2) \cdot \left[\frac{\lambda \cdot (G_2)^2}{2g \cdot \rho \cdot f^2 \cdot d} \right] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Решив систему относительно P_3, G_3 , найдем значения функций P и G в точке 3. Переходя от точки к точке, последовательно определяются значения параметров во всей плоскости x, τ трубопроводов, составляющих разветвленную систему питания (рис. 1).

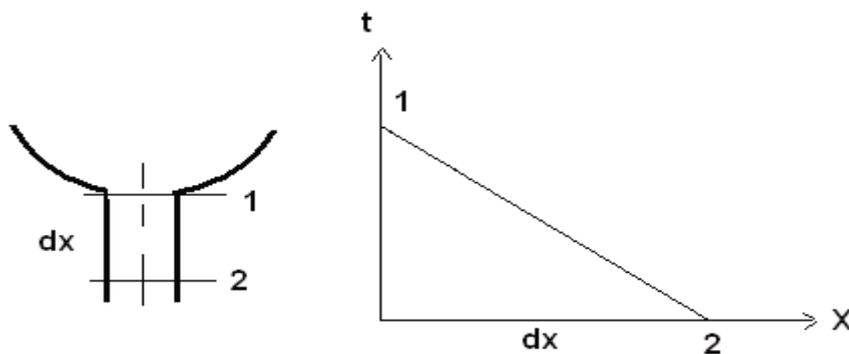


Рис. 2. Истечение из бака в общий трубопровод

Система уравнений (4) может быть использована только при постановке граничных условий, реально отражающих гидродинамические процессы в разветвленной системе питания. Основными граничными условиями для неустановившегося движения жидкой среды в данном случае могут быть функциональные зависимости, отражающие протекание процессов:

- на выходе из бака и на входе в общий трубопровод питания;
- в месте разветвления магистралей;
- перед клапанами управления расходом компонента топлива на входе в камеры сгорания двигателей.

Для первого граничного условия рассматривается истечение жидкости из бака в сечении 1 и условия движения на длине расходного трубопровода Δx между сечениями 1 и 2 (рис. 2). Здесь же в координатах (x, t) для общего расходного трубопровода приведено направление обратной характеристики между точками 1 и 2.

Используя общеизвестное уравнение Бернулли для истечения из бака в сечении 1 и одну из зависимостей (4) на обратной характеристике между сечениями 1 и 2, можно получить следующее выражение для определения расхода жидкости на выходе из бака в сечении 1:

$$G_1 = \frac{\sqrt{\left(\frac{a}{f}\right)^2 - 2 \cdot \frac{1+\xi}{\rho \cdot f^2} \cdot \left(P_2 - P_0 - \frac{a}{f} \cdot G_2 + \Delta x \cdot \frac{\lambda \cdot G_2^2}{2 \cdot d \cdot \rho \cdot f^2}\right) - \frac{a}{f}}}{\frac{1+\xi}{\rho \cdot f^2}}$$

Здесь f, d – соответственно, площадь проходного сечения и диаметр общего трубопровода, ρ – плотность жидкости, ξ – коэффициент сопротивления на входе в трубопровод, l – коэффициент трения, P_0 – полное давление в баке на входе в трубопровод.

Если общий трубопровод 1, выходящий из бака, делится на два трубопровода 2 и 3, в месте разветвления выполняются условия равенства давления во всех трубопро-

водах и равенство общего расхода жидкого компонента G_1 сумме расходов в отдельных трубопроводах 2 и 3:

$$P_1 = P_2 = P_3, \quad G_1 = G_2 + G_3.$$

При этом привлекаются (4) на прямой характеристике трубопровода 1 и на обратных характеристиках трубопроводов 2 и 3. В результате можно получить следующие зависимости для расчета расходов и давлений в месте разветвления.

$$G_2 = \frac{[\Pi_1 \cdot f_1 - (f_1 + f_3) \cdot \Pi_2 + \Pi_3 \cdot f_3] \cdot f_2}{a \cdot (f_1 + f_2 + f_3)},$$

$$G_3 = \frac{[\Pi_1 \cdot f_1 - (f_1 + f_3) \cdot \Pi_2 + \Pi_3 \cdot f_3] \cdot f_3 + (\Pi_2 - \Pi_3) \cdot f_3}{a \cdot (f_1 + f_2 + f_3) + a},$$

$$G_1 = G_2 + G_3, \quad P_1 = P_2 = P_3 = G_1 \cdot a / f_1 - \Pi_1.$$

$$\Pi_1 = \bar{P} + \frac{a}{f_1} \bar{G}_1 - \Delta x_1 \cdot \frac{\lambda \cdot \bar{G}_1^2}{2 \cdot d_1 \cdot \rho \cdot f_1^2},$$

$$\Pi_2 = P - \frac{a}{f_2} G_2 + \Delta x_2 \cdot \frac{\lambda \cdot G_2^2}{2 \cdot d_2 \cdot \rho \cdot f_2^2},$$

$$\Pi_3 = P - \frac{a}{f_3} G_3 + \Delta x_3 \cdot \frac{\lambda \cdot G_3^2}{2 \cdot d_3 \cdot \rho \cdot f_3^2}.$$

Здесь \bar{P} и \bar{G} – параметры в начале прямой характеристики.

Третье граничное условие, а именно описание процесса перед клапанами управления расходом компонента топлива, находится из тех же условий, как и при истечении из бака. Отличие состоит только в том, что привлекаются условия на прямой, а не на обратной характеристике между сечениями в трубопроводе и на входе в клапан управления:

$$P_k = P_{кам} + 0,5 \cdot \rho V^2 (1 + \xi),$$

$$P_1 - P_k + \frac{a}{g \cdot f} (G_k - G_1) + (x_k - x_1) \cdot \left[\frac{\lambda \cdot (G_1)^2}{2g \cdot \rho \cdot f^2 \cdot d} \right] = 0.$$

В этом случае зависимости для расхода G_k и давления P_k перед клапаном примут вид:

$$G_k = \frac{f \cdot \sqrt{(P_k \cdot f)^2 + 4 \cdot [f^2 + f^2_k \cdot \Delta x \cdot \frac{\lambda}{d}] \cdot \bar{P} - P_k \cdot f^2}}{2 \cdot [f^2 + f^2_k \cdot \Delta x \cdot \frac{\lambda}{d}]}, \quad P_k = \Pi_1 - G_k \cdot a / f,$$

или

$$G_k = \frac{f^2_k \cdot \rho \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{a}{f}\right)^2 + 2 \cdot \frac{1+\zeta}{\rho \cdot f^2_k} (\Pi_1 - P_{кам}) - \frac{a}{f}} \right)}{1+\zeta},$$

$$\Pi_1 = \bar{P} + \frac{a}{f_1} \bar{G}_1 - \Delta x_1 \cdot \frac{\lambda \cdot \bar{G}_1^2}{2 \cdot d_1 \cdot \rho \cdot f_1^2},$$

где f и f_k – площадь проходного сечения трубопровода и клапана,

\bar{P} – давление в начале прямой характеристики,

$P_{кам}$ – давление за клапаном (в камере сгорания).

Список литературы

Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. т. II. М.: Физматгиз. 1962. 639 с.

УДК 629.76.036

Кологов А. В., Усов Г. Л.

Методика анализа процессов захлаживания системы питания жидкостного ракетного двигателя и заправки топливного бака

В статье приведены математические зависимости процессов в магистралах питания двигателя и в топливных баках при их охлаждении и заправке компонентами топлива.

Ключевые слова: заправка, захлаживание, топливный бак, трубопровод, двигатель, система питания, температура, давление, расход.

Ответственными технологическими операциями, обеспечивающими успешную работоспособность ракетно-космического объекта, являются операции по захлаживанию системы питания и заправке баков изделия для обеспечения заданной массы топлива с поддержанием требуемых температур и давлений компонентов топлива на входе в двигатель в процессе его запуска. Вполне естественным является стремление специалистов осуществлять данные операции на оптимальных режимах с минимальными материальными затратами по строго заданным временным характеристикам как при штатной работе, так и в процессе летных и стендовых испытаний. При этом значительному сокращению объемов и сроков экспериментальной отработки могут способствовать методы анализа и расчетных исследований, отражающих реальное прохождение физических процессов в системе питания двигателя и в топливных баках при предстартовой подготовке ракетно-космического объекта.

При движении жидкого компонента топлива от источника до входа в бак стенка трубопровода получает опре-

деленное количество тепла от окружающей среды и одновременно отдает часть тепловой энергии жидкой среде, находящейся в трубопроводе. Если процесс подвода жидкости в трубопровод происходит в течение определенного промежутка времени, то в системе наступает равновесие и равновесную температуру стенки T_c можно определить из уравнения теплового баланса:

$$q_c = q_{ок} - q_{вн}.$$

Здесь q_c – тепло, аккумулируемое стенкой трубопровода; $q_{ок}$ – тепловой поток от окружающей среды; $q_{вн}$ – тепло, переданное от трубопровода в жидкость.

Используя общепринятые выражения для тепловых потоков и аккумулированного трубопроводом тепла, уравнение теплового баланса можно записать в виде

$$c_c \cdot \delta_c \cdot \rho_c \cdot \frac{dT_c}{d\tau} = -T_c (\alpha_{ок} + \alpha_{вн}) + (\alpha_{ок} T_{ок} + \alpha_{вн} T_1), \quad (1)$$

где индекс c относится к стенке трубопровода;



c_c, δ_c, T_c – соответственно, теплоёмкость, толщина и температура стенки трубопровода;

T_1 – температура компонента на входе в трубопровод;

$T_{ок}$ – температура окружающей среды;

$\alpha_{ок}$ и $\alpha_{вн}$ – коэффициенты теплоотдачи от окружающей среды в трубопровод и от трубопровода в жидкость.

Решение уравнения определяет изменение температуры стенки трубопровода по времени, и оно очевидно:

$$T_c = (T_c^0 - b) \exp(-a\tau), \quad (2)$$

где T_c^0 – температура стенки на входе в трубопровод;

$$a = \frac{\alpha_{ок} + \alpha_{вн}}{c_c \cdot \delta_c \cdot \rho_c}, \quad b = \frac{\alpha_{ок} \cdot T_{ок} + \alpha_{вн} \cdot T_1}{\alpha_{ок} + \alpha_{вн}}.$$

Здесь принято, что теплопроводность вдоль стенки трубопровода отсутствует.

Значения $\alpha_{ок}$ и $\alpha_{вн}$ определяются либо экспериментально, либо с использованием теории и эксперимента.

Во многих технических задачах при рассмотрении процессов теплопроводности для расчета коэффициента теплоотдачи используется теоретический экспериментальный метод, в соответствии с которым

$$\alpha_{ок} = a_1 \cdot (T_{ок} - T_c)^{a_2},$$

где a_1, a_2 – коэффициенты, определяемые опытным путём.

Для нахождения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{вн}$ возможно использовать общеизвестную формулу, содержащую критерии Нуссельта N_u , Рейнольдса Re и Прандтля P_r :

$$N_u = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot P_r^{0,43},$$

Отношения между теплофизическими характеристиками среды и критериями, как известно, характеризуются следующими зависимостями:

$$N_u = \frac{\alpha_{вн} \cdot d}{\eta}, \quad P_r = \frac{\mu \cdot c}{\eta}, \quad Re = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu}.$$

Анализ (2) даёт возможность определить температуру теплового равновесия (при приемлемом значении времени τ) или время, в течение которого устанавливается это равновесие.

Приведенные выше зависимости привлекаются при анализе течения по трубопроводу без наружной изоляции. Если трубопровод содержит теплоизоляцию, толщина которой $\delta_{из}$, с коэффициентом теплоотдачи $\eta_{из}$, то для такой системы вместо зависимости (1) используется уравнение теплового баланса вида

$$c_c \cdot \delta_c \cdot \rho_c \cdot \frac{dT_c}{d\tau} = \alpha_{вн} (T_1 - T_c) + (T_{ок} - T_c) \left(\frac{\delta_{из}}{\eta_{из}} + \frac{1}{\alpha_{ок}} \right)^{-1}$$

При вынужденном движении по трубопроводу жидкости, с температурой, значение которой ниже температуры стенки трубопровода, происходит нагревание жидкости, температуру которой можно определить из следующих соображений.

Считая жидкость несжимаемой, из закона сохранения массы, уравнений Бернулли и энергии можно получить следующее соотношение для температуры жидкости T :

$$G \cdot \left(c \cdot dT - \xi \cdot \frac{dx \cdot u^2}{2 \cdot d} \right) = -\alpha_{вн} \cdot s \cdot (T - T_c) \cdot dx, \quad (3)$$

где G и c – соответственно, расход жидкости и ее теплоёмкость;

s – длина окружности трубопровода в осевом сечении;

ξ – приведенный коэффициент сопротивления единицы длины трубопровода;

u – скорость жидкости.

Разделяя и интегрируя переменные, получим выражение для определения изменения температуры жидкости по длине трубопровода x в процессе захлаживания

$$T = \omega + [T(0) - \omega] \exp\left(-\frac{\alpha_{вн} \cdot s}{cG} \cdot x\right). \quad (4)$$

где $T(0)$ – температура в начальном сечении при $x = 0$;

$$\omega = T_c + \frac{G \cdot \xi \cdot u^2}{2s \cdot d}.$$

Для определения коэффициента сопротивления ξ могут быть использованы либо значения, полученные при испытаниях, либо формализованное, применяемое при расчетах гидравлических сопротивлений выражение, типа:

$$\xi = 0,1 \left(\frac{h}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25},$$

где h – эквивалентная шероховатость трубопровода (высота бугорков).

Полагая, что расстояние от источника с жидким компонентом топлива до бака $x = l$ и используя соотношение (4), можно определить температуру жидкости на входе в бак.

Следует отметить, что зависимости (3) и (4) возможно использовать при рассмотрении течения высококипящих компонентов топлива, когда эффекты от испарения жидкости практически не оказывают влияние на изменение значений параметров и на происходящие в магистралях процессы теплообмена. Для учета этого влияния уравне-



ние (3) следует дополнить составляющими, учитывающими теплоподвод (или теплоотвод) при фазовых переходах в процессе испарения жидкого компонента топлива:

$$G \cdot \left(c \cdot \frac{dT}{dx} - \xi \cdot \frac{u^2}{2 \cdot d} \right) = -\alpha_{\text{вн}} \cdot s(T - T_c) - \chi \cdot G_{\text{исп}},$$

Здесь $G_{\text{исп}}$ – количество жидкой фазы, переходящей в пар. Для его определения используется градиент изменения давления упругости пара $\frac{dP_s}{dx}$ на участке dx трубопровода.

Жидкая среда из магистрали заправки поступает в бак и участвует в тепло-массообменных процессах как в жидкой, так и в свободной газовой фазе бака. Топливные баки ракетно-космических объектов в большинстве своём являются осесимметричными и в этом случае гидравлические и тепло-массообменные процессы предпочтительно рассматривать в цилиндрических координатах: x вдоль оси бака, r – по радиусу и φ – по углу в сечении, перпендикулярном оси бака. Если считать, что в процессе заполнения бака можно пренебречь изменением скорости среды в радиальном и окружном направлении и положить, что скорость движения жидкости вдоль оси бака x не претерпевает существенных изменений, то уравнение сохранения энергии, используемое для расчёта параметров жидкости, приведенное в работе [1], можно записать в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\eta}{c \cdot \rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + g \frac{u}{c} - u \frac{\partial T}{\partial x} \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения.

Решение данного уравнения может быть получено при применении конечно-разностного метода [1].

При исследовании процессов заправки и захлаживания баков компонентами топлива уравнение (5) рассматривается совместно с граничными условиями, описывающими физические процессы взаимодействия среды со стенками бака и с поверхностью раздела жидкости и газопаровой фазы. При этом могут быть приняты следующие условия.

1. У нижнего днища температура жидкости принимается равной температуре компонента в магистрали заправки $T_{\text{вх}}$ на входе в бак:

$$\text{при } x=0 \quad T=T_{\text{вх}} \quad \text{для } 0 \leq r \leq \text{rad}.$$

Здесь rad – максимальный радиус бака, $T_{\text{вх}}$ – температура в заправочной магистрали на входе в бак.

2. У стенки на расстоянии rad от центра бака по всему объему жидкого компонента, высота которого в баке в данный момент времени равна h , определяется удельный тепловой поток $q_{\text{вн}}$ от стенки бака в компонент:

при $r = \text{rad}$ $q_{\text{вн}} = \alpha_{\text{вн}} \cdot (T_c - T)$ для $0 < x \leq h$,
где T_c – температура стенки бака на расстоянии x от днища.

Коэффициент теплоотдачи от стенки бака к компоненту α_c при наличии паровой фазы определяется по [2]:

$$\alpha_{\text{вн}} = \left[\frac{(\eta'')^3 \cdot \chi \cdot \rho'' \cdot g (\rho' - \rho'')}{\mu'' (T - T_s) \cdot d_s} \left(1 + c'' \frac{T - T_s}{2\chi} \right) \right]^{0,25} \cdot a_3$$

где индекс ' – относится к жидкости, индекс '' – характеризует пар;

a_3 – постоянный коэффициент, значение которого близко к величине 0,8.

Полагая что бак является осесимметричным и пренебрегая различием температуры на внутренней и наружной поверхностях его обечайки, имеющей незначительную толщину δ , для уравнения теплового баланса материала стенки можно воспользоваться следующим уравнением теплопроводности (для случая контакта наружной поверхности с окружающей средой, имеющей температуру $T_{\text{ок}}$, и контакта внутренней поверхности с жидким компонентом температуры T):

$$c_c \rho_c \frac{\partial T_c}{\partial \tau} = \eta \frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + \frac{1}{\delta} [\alpha_{\text{ок}} (T_{\text{ок}} - T_c) - \alpha_{\text{вн}} (T_c - T)]$$

Граничные условия на стенке и на нижнем днище топливного бака для компонента дополняются массовой скоростью испарения среды $G_{\text{ис}}$. Для центральной оси бака x граничным условием является условие симметричности:

$$\text{при } r=0 \quad \text{для } 0 \leq x \leq h.$$

3. Для поверхности, отделяющей жидкость от газа, принято, что на давление упругих паров P_s определяющее влияние оказывает температура T_s и это влияние можно отразить в виде уравнения:

$$P_s = P_{\text{кр}} \cdot \exp \left[\left(b_1 \cdot Q + b_2 \cdot Q^{1,5} + b_3 \cdot Q^3 + b_4 \cdot Q^7 + b_5 \cdot Q^9 \right) \frac{T_{\text{кр}}}{T_s} \right].$$

Здесь $Q = 1 - \frac{T_s}{T_{\text{кр}}}$, $P_{\text{кр}}$, $T_{\text{кр}}$ – критические значения давления и температуры, b_1, \dots, b_5 – постоянные коэффициенты.

Дополнительно следует привлекать зависимости, определяющие изменение параметров давления и температуры в газовом объеме бака.

Список литературы

1. Усов Г.Л., Венгерский Э.В. Математическая модель заправки топливного бака жидкостной ракетной двигательной установки // М.: Машиностроение. Ж. Полет. 2014. №9. С. 46–51.
2. Теплопередача в двухфазном потоке, М.: Энергия, 1980.

УДК 629.76.036

Кологов А.В., Усов Г.Л.

Методика определения параметров в газовых объёмах топливных баков с использованием реакций диссоциации

В работе приведена математическая модель анализа и исследования процессов, происходящих при впрыске в топливный бак противоположного компонента топлива, реагирующего с компонентом топлива в баке.

Ключевые слова: топливный бак, компонент, давление, расход, азот, кислород, углерод, водород, константа равновесия.

При работе жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) на самовоспламеняющихся компонентах топлива, например, пары азотный тетраксид – АТ+ несимметричный диметилгидразин – НДМГ, для поддержания заданного давления в баках и на входе в двигатель в некоторых случаях возможно использовать химическую систему наддува. В такой системе в бак с компонентом топлива окислителем или горючим впрыскивается в определенных количествах второй компонент и в результате протекания химической реакции происходит процесс газообразования, что обеспечивает создание давления в газовом объеме бака.

Как правило, такая система является автономной, т.е. может работать независимо от условий работы двигателя, и её преимуществом является [1]:

- возможность отдельной от двигательной установки доводки системы;
- простота регулировки системы наддува на изделии;
- независимость параметров системы от режима работы двигателя;
- возможность предстартового наддува топливных баков без дополнительных агрегатов.

В данном случае для исследования процессов, происходящих в топливных баках при взаимодействии пары самовоспламеняющихся компонентов ракетного топлива, могут использоваться математические модели, отражающие сущность происходящих физических процессов, для разработки которых в качестве исходных данных могут быть приняты физико-химические свойства реагентов, приведённые в табл. 1.

По величине молекулярного веса μ из табл. 1 и атомным весам элементов определяются весовые доли азота g_{an} ,

кислорода g_{on} , углерода g_{cn} и водорода g_{hn} , входящие в состав окислителя и горючего.

Здесь первый индекс характеризует элемент, входящий в состав окислителя (АТ) или горючего (НДМГ), второй индекс n принимает значение либо o , либо g , в зависимости от того, какой компонент рассматривается.

В частности, весовые доли элементов табл.1 составляют значения.

По окислителю АТ

$$\text{азот} - g_{ao} = 2 \cdot \frac{14}{92} = 0,304, \quad \text{кислород} - g_{oo} = 4 \cdot \frac{16}{92} = 0,696.$$

По горючему НДМГ

$$\begin{aligned} \text{азот} - g_{ag} &= 2 \cdot \frac{14}{60,1} = 0,467, \quad \text{углерод} - g_{cg} = 2 \cdot \frac{12}{60,1} = 0,4, \\ \text{водород} - g_{hg} &= 8 \cdot \frac{1}{60,1} = 0,133. \end{aligned}$$

Если задано весовое соотношение реагирующих компонентов v , возможно вычислить количества азота N_m , кислорода O_m , углерода C_m и водорода H_m , входящие в 1 кг смеси компонентов, используя следующие зависимости [2]:

$$\begin{aligned} N_m &= (g_{az} + v \cdot g_{ao}) / (1 + v), \quad O_m = (g_{oz} + v \cdot g_{oo}) / (1 + v), \\ C_m &= (g_{cz} + v \cdot g_{co}) / (1 + v), \quad H_m = (g_{hz} + v \cdot g_{ho}) / (1 + v). \end{aligned} \quad (1)$$

Также определяется полное теплосодержание горючей смеси I_m по известным значениям теплосодержания горючего I_g и окислителя I_o

$$I_m = (I_g + v \cdot I_o) / (1 + v). \quad (2)$$

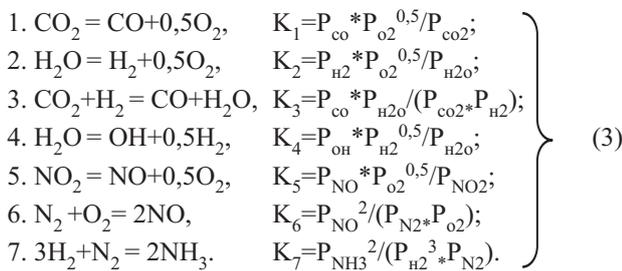
Компонент, подаваемый в топливный бак с противоположным компонентом топлива, вступает в прямую реак-

Таблица 1. Физико-химические свойства реагентов

Компонент	Химическая формула	Молекулярный вес μ	Плотность ρ , г/см ³	Теплоемкость c_p , Дж/кг.град	Теплота испарения $q_{исп}$, кДж/кг	Теплосодержание I , Ккал/кг
АТ	N_2O_4	92	1,472	1530	415	-74
НДМГ	$N_2H_2(CH_3)_2$	60,1	0,83	2720	583	81

цию горения и со временем скорость этой реакции уменьшается вследствие уменьшения общего числа столкновений между молекулами исходных веществ. Одновременно скорость обратной реакции-реакции диссоциации при данной температуре смеси увеличивается за счет увеличения числа столкновений, в которых участвуют молекулы продуктов реакции.

В [2] отмечено, что для пары компонентов, аналогичной той, что приведена в табл. 1, наиболее вероятными могут быть семь реакций диссоциации с константами равновесия K_i ($i=1, \dots, 7$), выраженными через парциальные давления P_i составляющих газовых сред, образующихся при прохождении реакций:



Константы равновесия данных реакций зависят от температуры реакции (горения) T_n и для удобства пользования в дальнейшем могут рассчитываться по следующим логарифмическим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} \text{Log}K_1 &= 2 \cdot 10^{-8} \cdot T_n^3 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot T_n^2 + 0,1385 \cdot T_n - 75,697, \\ \text{Log}K_2 &= 2 \cdot 10^{-8} \cdot T_n^3 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot T_n^2 + 0,1186 \cdot T_n - 66,321, \\ \text{Log}K_3 &= 3 \cdot 10^{-9} \cdot T_n^3 - 10^{-5} \cdot T_n^2 + 0,02 \cdot T_n - 9,3755, \\ \text{Log}K_4 &= 2 \cdot 10^{-8} \cdot T_n^3 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot T_n^2 + 0,1392 \cdot T_n - 77,427, \\ \text{Log}K_5 &= 3 \cdot 10^{-8} \cdot T_n^3 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot T_n^2 + 0,0682 \cdot T_n - 20,2, \\ \text{Log}K_6 &= 10^{-8} \cdot T_n^3 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot T_n^2 + 0,0883 \cdot T_n - 49,909, \\ \text{Log}K_7 &= -7 \cdot 10^{-9} \cdot T_n^3 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot T_n^2 - 0,0321 \cdot T_n + 10,086. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Используя известные уравнения состояния газов и уравнение Дальтона для суммарного давления P_Σ , балансовые уравнения (1) для элементов, составляющих реагирующую смесь, можно записать с учетом парциальных давлений газов в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} O_m &= (g_{o2} + v \cdot g_{oo}) / (1 + v) = \frac{16}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} (2P_{\text{O}_2} + 2P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}} + 2P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{OH}} + P_{\text{H}_2\text{O}}), \\ H_m &= (g_{h2} + v \cdot g_{ho}) / (1 + v) = \frac{1}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} (2P_{\text{H}_2\text{O}} + 2P_{\text{H}_2} + P_{\text{OH}} + 3P_{\text{NH}_3}), \\ C_m &= (g_{c2} + v \cdot g_{co}) / (1 + v) = \frac{12}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} (P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}}), \\ N_m &= (g_{n2} + v \cdot g_{no}) / (1 + v) = \frac{14}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} (2P_{\text{N}_2} + P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{NH}_3}). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь M_Σ – общее число граммолей всех продуктов сгорания, приходящихся на 1 кг топлива (реагирующих компонентов).

Для исключения числа переменных в уравнениях, приведенных выше, возможно рассматривать не сами количества элементов продуктов сгорания, а их отношения. В этом случае систему (5) можно привести к следующему виду, путем деления 1-го уравнения на 3-е, а 2-го и 3-го на 4-е, обозначив отношения элементов как Q, R, S :

$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{3}{4} \frac{O_m}{C_m} = \frac{(2P_{\text{O}_2} + 2P_{\text{CO}_2} + 2P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}} + P_{\text{OH}})}{P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}}}, \\ R &= 14 \frac{H_m}{N_m} = \frac{(2P_{\text{H}_2\text{O}} + 2P_{\text{H}_2} + P_{\text{OH}} + 3P_{\text{NH}_3})}{2P_{\text{N}_2} + P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{NH}_3}}, \\ S &= \frac{7}{6} \frac{C_m}{N_m} = \frac{(P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}})}{2P_{\text{N}_2} + P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{NH}_3}}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Давление газовой смеси P_Σ определяется как сумма парциальных давлений продуктов сгорания

$$P_\Sigma = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{CO}} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{N}_2} + P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{OH}} + P_{\text{NH}_3} \quad (7)$$

Решение системы уравнений (4), (6) и (7) для предварительно выбранных значений температуры реакции T_n и давления P_Σ позволяет определить состав продуктов сгорания при реакции взаимодействующих компонентов и затем уточнить суммарное давление реагентов.

Уточнение выбранной температуры T_n производится путем сравнения полного теплосодержания горючей смеси I_m , определенного из формулы (2), с полным теплосодержанием продуктов сгорания I_{nc} , определяемым по формуле:

$$I_{nc} = \frac{\sum_i I_{ni} \cdot P_i}{\sum_i \mu_i \cdot P_i} \quad (8)$$

Здесь P_i – парциальные давления составляющих газов, μ_i – молекулярная масса i -го газа, I_{ni} – полное теплосодержание i -го газа.

Для определения полного теплосодержания газовых сред I_{ni} в зависимости от температуры реакции T_n могут быть применены известные соотношения:

$$\left. \begin{aligned} \text{для CO}_2 \quad I_{n1} &= 0,0014 \cdot T_n^2 + 9,9217 \cdot T_n - 97270, \\ \text{для H}_2\text{O} \quad I_{n2} &= 0,0013 \cdot T_n^2 + 7,3021 \cdot T_n - 60056, \\ \text{для CO} \quad I_{n3} &= 0,0006 \cdot T_n^2 + 6,7261 \cdot T_n - 28473, \\ \text{для OH} \quad I_{n4} &= 0,0005 \cdot T_n^2 + 6,4899 \cdot T_n + 8150,3, \\ \text{для NO} \quad I_{n5} &= 0,0005 \cdot T_n^2 + 6,9559 \cdot T_n + 19474, \\ \text{для H}_2 \quad I_{n6} &= 0,0004 \cdot T_n^2 + 6,457 \cdot T_n - 1900,3, \\ \text{для O}_2 \quad I_{n7} &= 0,0005 \cdot T_n^2 + 7,1265 \cdot T_n - 2194,7, \\ \text{для N}_2 \quad I_{n8} &= 0,0006 \cdot T_n^2 + 6,6342 \cdot T_n - 2012,1, \\ \text{для NO}_2 \quad I_{n9} &= 0,0013 \cdot T_n^2 + 9,8797 \cdot T_n + 4804,7, \\ \text{для NH}_3 \quad I_{n10} &= 0,0027 \cdot T_n^2 + 7,8626 \cdot T_n - 13683. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

При рассмотрении результатов [1] и [2] можно предположить, что прохождение всей совокупности реакций диссоциации (3) будет лишь при достаточно высоких значениях температуры, что не характерно для условий горения на поверхности какого-либо компонента в значительных газовых объемах. Из анализа результатов исследований, изложенных в [2], следует, что для условий впрыска горючего НДМГ в топливный бак с АТ наиболее вероятной реакцией диссоциации будет проходить реакция №5 из системы (3), а состав продуктов сгорания следует считать состоящим из шести газов: NO_2 , NO , O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O . Значение самой константы равновесия K_5 определяется известной зависимостью парциальных давлений продуктов реакции:

$$K_5 = \frac{P_{\text{NO}} \cdot P_{\text{O}_2}^{0,5}}{P_{\text{NO}_2}}. \quad (10)$$

При этом балансовые уравнения (1) для элементов, составляющих реагирующую смесь, с учетом парциальных давлений газов записываются в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} O_m &= (g_{o_2} + v \cdot g_{oo}) / (1 + v) = \frac{16}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} (2P_{\text{O}_2} + 2P_{\text{CO}_2} + 2P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{H}_2\text{O}}), \\ H_m &= (g_{h_2} + v \cdot g_{ho}) / (1 + v) = \frac{1}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} 2P_{\text{H}_2\text{O}}, \\ C_m &= (g_{c_2} + v \cdot g_{co}) / (1 + v) = \frac{12}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} P_{\text{CO}_2}, \\ N_m &= (g_{n_2} + v \cdot g_{no}) / (1 + v) = \frac{14}{1000} \frac{M_\Sigma}{P_\Sigma} (2P_{\text{N}_2} + P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}}). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Давление газовой смеси P_Σ определяется суммой парциальных давлений

$$P_\Sigma = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{N}_2} + P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}}. \quad (12)$$

В [2] отмечено, что в результате предварительных исследований для определения доли молекулярного азота N_m , выделяющегося из реагентов АТ+ТДМГ, возможно использовать следующую зависимость

$$N_m = 3.3236 - \frac{2.1908}{100\tau} \lg(1 + 300\tau) \quad (13)$$

В этом случае систему (11) с учетом количества молекулярного азота N_m можно привести к следующему виду, путем деления на количество углерода C_m , обозначив отношения элементов как Q, R, S, Z : пользоваться следующей зависимостью

$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{3}{4} \frac{O_m}{C_m} = \frac{(2P_{\text{O}_2} + 2P_{\text{CO}_2} + 2P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}} + P_{\text{H}_2\text{O}})}{P_{\text{CO}_2}}, \\ R &= 12 \frac{H_m}{C_m} = \frac{2P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{CO}_2}}, \\ S &= \frac{6}{7} \frac{N_m - N_m}{C_m} = \frac{P_{\text{NO}_2} + P_{\text{NO}}}{P_{\text{CO}_2}}, \\ Z &= \frac{6}{7} \frac{N_m}{C_m} = \frac{2P_{\text{N}_2}}{P_{\text{CO}_2}}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Система этих зависимостей совместно с уравнениями (10), (12) и (13) дает возможность определить шесть парциальных давлений газовой смеси для выбранной температуры реакции T_n .

По найденным давлениям P_i рассчитывается газовая постоянная R_n продуктов реакции

$$R_n = 848 \frac{P_\Sigma}{\sum_i \mu_i \cdot P_i} \quad (15)$$

Продукты реакции смешиваются с газовой средой подушки топливного бака. В результате изменяется как масса газа, так и внутренняя энергия подушки в баке. В этом случае для определения изменения параметров в газовой среде: суммарного давления P_b и температуры T_b используются следующие модифицированные уравнения сохранения энергии и массы:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_b}{d\tau} &= [k \cdot R_n \cdot G_n \cdot T_n - (k-1)Q_3 - P_b \frac{dV}{d\tau}] \frac{1}{V}, \\ P_b \frac{dT_b}{d\tau} &= T_b \left[\frac{dP_b}{d\tau} - \frac{R_b \cdot T_n}{V} G_n + \frac{P_b}{V} \frac{dV}{d\tau} \right], \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где V – объём газовой полости;

Q_3 – тепловой поток от газа в зеркало жидкости и стенки бака;

G_n – количество прореагировавших реагентов, $G_n = G_s(I+v)$;

G_s – расход впрыскиваемого компонента;

v – соотношение компонентов;

R_b – газовая постоянная смеси газов в подушке бака.

В промежутке времени прохождения реакции компонентов $\Delta\tau$ для определения величины R_b возможно использовать следующую зависимость в предположении, что газовая постоянная смеси газов равна сумме произведений газовых постоянных отдельных газов на их массовые доли:

$$R_b = \frac{R_n \cdot G_n \cdot \Delta\tau + R_b \cdot G_b}{G_b + G_n \cdot \Delta\tau}. \quad (17)$$

Здесь G_b – масса газа в баке в начале промежутка времени $\Delta\tau$.

Алгоритм расчета значений параметров при использовании вышеприведенных зависимостей может включать следующие действия:

а) по заданному значению температуры реакции T_n из системы (4) для $\text{Log}K_5$ определяют значение константы равновесия K_5 ;

б) зная в данный момент времени суммарное давление в газовой подушке бака P_Σ , задаются значением давления окиси азота P_{NO} и рассчитывают давления P_{NO_2} и P_{O_2} , используя (14):

$$A = \frac{Q + S + 0,5 \cdot R + Z}{2 \cdot S}, \quad B = \frac{1 + S + 0,5 \cdot (R + Z)}{S}, \quad (18)$$

$$P_{NO_2} = \frac{P_\Sigma - A \cdot P_{NO}}{A - 0,5}, \quad P_{O_2} = P_\Sigma - B \cdot (P_{NO} + P_{NO_2}).$$

По рассчитанным значениям давления с учётом вычисленной константы равновесия K_5 , определяют новую величину окиси азота P_{NO} по формуле (10). Если это значение не совпадает с достаточной точностью с заданной величиной P_{NO} , вновь используют (12), (14) и (10) до тех пор, пока предыдущее и последующее значения P_{NO} не совпадут;

в) из (14) определяют остальные парциальные давления:

$$P_{CO_2} = \frac{P_{NO} + P_{NO_2}}{S}, \quad P_{H_2O} = 0,5 \cdot R \cdot P_{CO_2}, \quad P_{N_2} = 0,5 \cdot Z \cdot P_{CO_2};$$

г) найденные значения давления всех составляющих газов дают возможность определить полное теплосодержание продуктов реакции I_{nc} из (8) с учетом теплосодержания газов, рассчитанным по (9) при заданной температуре реакции T_n . Если I_{nc} не совпадает с заданной точностью с теплосодержанием смеси I_m , определенным из (2), задается новое значение температуры реакции T_n и расчеты повторяются, начиная с пункта «а» до совпадения;

д) рассчитываются давление и температура в газовой подушке бака в данный момент времени с использованием зависимостей (16) и (17).

Список литературы

1. Беляев Н.М. Системы наддува топливных баков ракет. М.: Машиностроение. 1976. 335 с.
2. Синярев Г.Б., Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. М.: Оборонная промышленность. 1957. 580 с.

◆ КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 629.78:621.313.84

Камалдинов А.М., Аксенов Е.Г.

Оборудование для контроля качества бескорпусных двигателей

В статье изложены результаты разработки стенда для автоматизированного контроля качества изготовления бескорпусных двигателей, который позволит повысить точность и надежность систем ориентации и навигации для ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов.

Ключевые слова: контроль качества, бескорпусный двигатель, гиropлатформа, момент вращения.

В связи с возрастающими требованиями к системам управления ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов по повышению надёжности и точности возникает потребность в увеличении надёжности и точности существующих гиropлатформ, включая создание перспективных.

Обеспечение повышения надёжности и точности существующих и перспективных гиropлатформ с освоением их изготовления в производстве требует разработки новых технологических процессов и оборудования, в том числе и специального оборудования для автоматизированного контроля качества изготовления бескорпусных двигателей силовой разгрузки рам карданова подвеса гиropлатформ.

Бескорпусные двигатели (ДБ) рам карданова подвеса гиropлатформ представляют собой двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и предназначены для создания воздействий, уравнивающих возмущающие моменты, действующие

вокруг осей гиropлатформы. ДБ не имеют собственных опор. Крепление статора и ротора производится непосредственно на деталях рам карданова подвеса гиropлатформ.

Специалистами ФГУП «НПО «Техномаш» разработан стенд для автоматизированного контроля качества изготовления ДБ. В настоящее время изготовлен опытный образец стенда (рис. 1).

Контроль качества изготовления ДБ осуществляется посредством измерения компенсационным методом их вращающих моментов.

Входящий в состав преобразователь моментов обеспечивает преобразование вращающего момента ДБ в электрический сигнал, который усиливается в блоке электроники и обрабатывается специальным программно-математическим обеспечением (СПМО), установленным на промышленном компьютере.

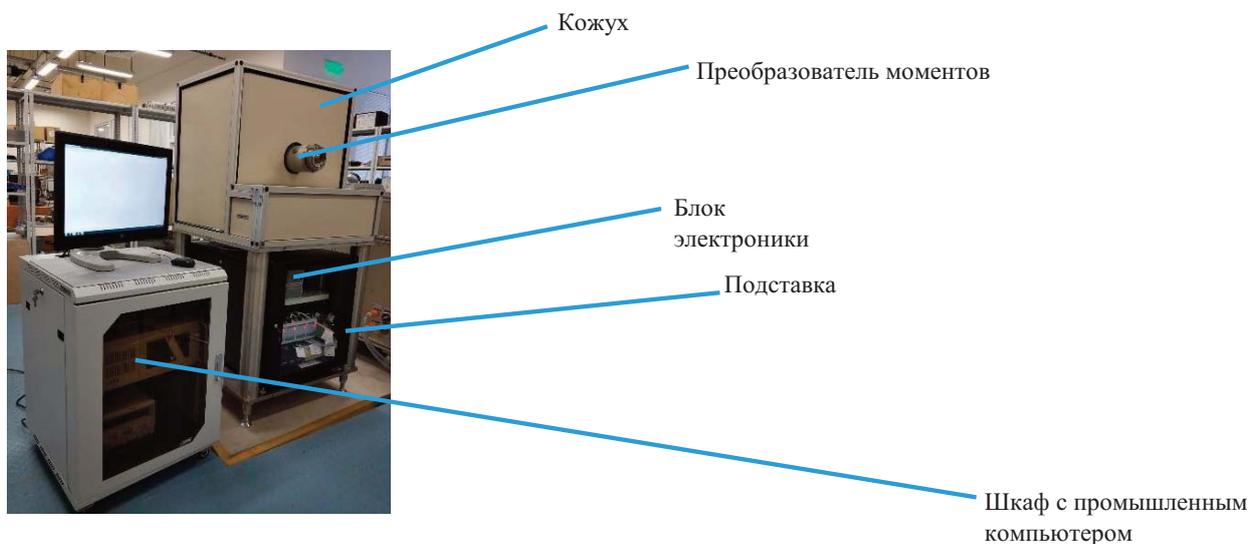


Рис. 1. Опытный образец стенда для автоматизированного контроля качества изготовления ДБ

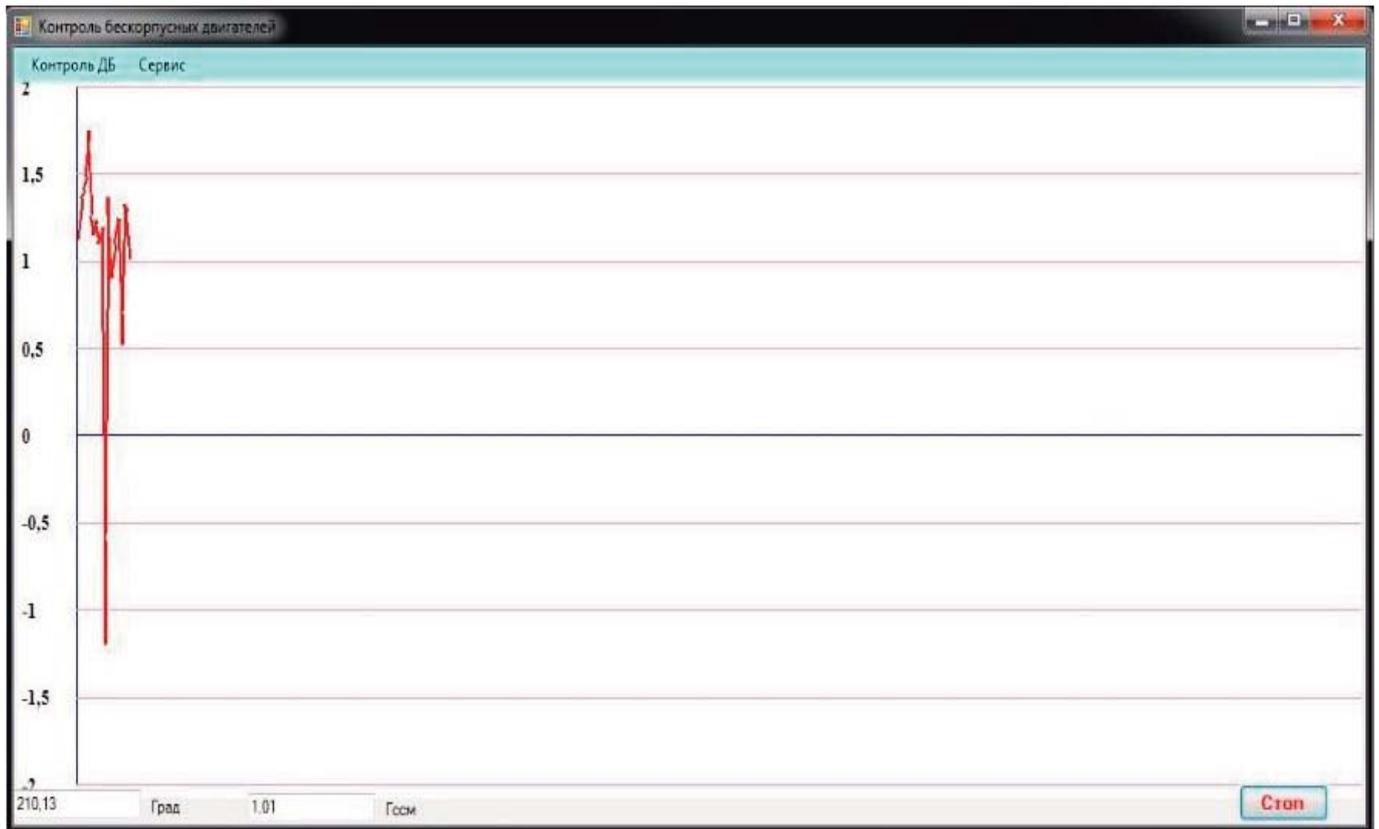


Рис. 2. Внешний вид окна «Контроль ДБ» СПМО

Входящая в состав преобразователя моментов опора обеспечивает установку статора и ротора ДБ посредством приспособлений для закрепления на стенд, а также поворот статора ДБ относительно ротора ДБ с выдачей сигнала, соответствующего углу относительного поворота, и фиксацией требуемого угла поворота.

СПМО для управления стендом обеспечивает:

- обработку сигналов, поступающих из блока электроники на промышленный компьютер, и выдачи значений моментов вращения, создаваемых контролируруемыми ДБ;
- управление приводом, осуществляющим поворот статора, контролируемого ДБ;
- обработку сигналов, соответствующих углу поворота статора относительно ротора;
- хранение и вывод информации по контролю ДБ.

Информация по контролю ДБ выводится в виде графика и числовых значений, создаваемых ДБ моментов вращения и углов положения ротора относительно статора (рис. 2).

Основные технические характеристики опытного образца стенда для автоматизированного контроля качества изготовления ДБ:

- относительная погрешность определения вращающего момента ДБ не более 1%;
- погрешность определения угла положения ротора ДБ не более 0,5 градусов;
- максимальный определяемый момент вращения – 0,02 Н·м.

Созданный стенд для автоматизированного контроля качества изготовления ДБ предназначен для оснащения предприятий, производящих гиropлатформы, а также производящих элементы военной и специальной техники, имеющие ДБ

◆ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.9.048.4

Белов И.И., Богданов К.А., Перепечкин А.А.

Разработка оптимальных электрических параметров процесса электроэрозионной обработки с наложением внешнего ультразвукового поля

В работе проведён сравнительный анализ методов получения отверстий малого диаметра при электроэрозионной обработке с различными схемами наложения ультразвукового поля.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, ультразвуковое поле, комбинированный метод обработки, отверстия малого диаметра, электрод-инструмент, детали ракетно-космической техники.

В работе проведены экспериментальные исследования по прошивке отверстий малого диаметра методом электроэрозионной обработки в образцах деталей из коррозионностойкой стали (12Х18Н10Т) с наложением энергии внешнего ультразвукового поля.

Целью работы является определение оптимальных электрических и ультразвуковых параметров для повышения производительности комбинированного метода обработки образцов деталей ракетно-космической техники (РКТ).

Используя различные варианты наложений внешних ультразвуковых колебаний (УЗК) на зону обработки, направление подачи электролита в зону обработки, варьируя материалами электрода-инструмента и режимами работы электроэрозионного и ультразвукового оборудования, найдены оптимальные режимы обработки различных образцов деталей, по результатам которых представлены графические интерпретации сравнительного анализа двух методов электроэрозионной обработки (ЭЭО).

Накопление в межэлектродном промежутке (МЭП) продуктов эрозии приводит к прохождению через них раз-

рядов. В результате часть энергии разряда расходуется на диспергирование продуктов эрозии, что приводит к снижению производительности и дестабилизирует процесс. При касании электродом скопления металлических продуктов эрозии происходит короткое замыкание (КЗ) между поверхностями электрода-инструмента (ЭИ) и детали, что ведет к образованию прижогов.

Способ комбинированной обработки металлов и сплавов, основан на тепловом действии импульсов электрического тока, непрерывно подводимых к участку обрабатываемой заготовки в целях осуществления работы по съёму металла. Эвакуация продуктов эрозии из зоны обработки достигается с помощью внешних УЗК, накладываемых на зону обработки. Все процессы, вызывающие обработку, протекают в МЭП.

Перед началом экспериментов проводились исследования по выбору источников ультразвукового поля. Рассматривались пьезокерамические и магнитострикционные источники ультразвукового поля. На основании проведённых исследований, опытов и предметного анализа литературных источников выбран магнитострикционный преобразо-



Рис. 1, 2. Измерение амплитуды колебаний с помощью микроскопа микротвердомера МТВ-1У4.2



Рис. 3, 4. Измерение амплитуды колебаний с помощью электронно-цифрового индикатора Vogel

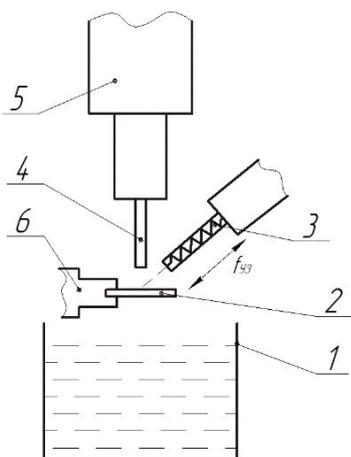


Рис. 5а. Схема наложения УЗК на жидкость, проходящую через ультразвуковой инструмент

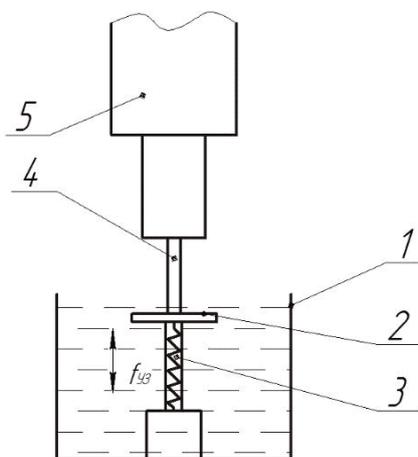


Рис. 5б. Схема наложения УЗК на обрабатываемую деталь

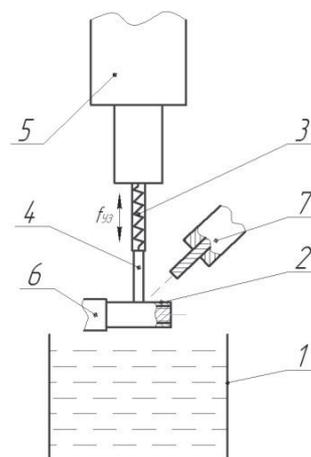


Рис. 5в. Схема наложения УЗК на ЭИ

ватель. Данный преобразователь обладает более широким диапазоном настройки амплитуды колебаний при подсоединении различных масс. Также определено значение амплитуды ультразвуковых колебаний (УЗК) (5–10 мкм).

Каждый вид образцов деталей рассматривался с позиции амплитудного колебания, генерируемого ультразвуковым генератором на 18–22 кГц.

Амплитуда определялась с помощью специального прибора, разработанного на основе микроскопа микротвердомера МПВ-1У4.2 (рис. 1, 2). Метод определения амплитуды УЗК измеряли по методу «размытия». Суть данного метода заключается в следующем: при помощи микроскопа на верхнюю грань риски, находящейся на поверхности образца, наводится горизонтальная ось микроскопа. Включается генератор ультразвука. Так как человеческий глаз не улавливает колебания с УЗ частотой, то кажется, что риска увеличивается в размерах, т. е. «размывается». Горизонтальную ось микроскопа перемещают на верхнюю грань «размытой» риски. Разницу

между начальным и конечным положением горизонтальной оси микроскопа принимают за амплитуду УЗ колебаний.

Чтобы не оказался ошибочным иллюзорный эффект от проведенных замеров, полученные значения амплитуды сравнивают с результатами замеров, проведенных с использованием электронного индикатора Vogel.

Перед проведением экспериментальных исследований проанализированы различные схемы наложения УЗ поля на процесс ЭЭО (рис. 5а, 5б, 5в), где 1 – ванна с рабочей жидкостью (РЖ); 2 – обрабатываемая деталь (пластина, форсунка); 3 – ультразвуковой излучатель; 4 – ЭИ; 5 – привод подачи рабочего хода ЭИ; 6 – узел крепления обрабатываемой детали; 7 – узел крепления направляющей втулки.

Простой в реализации является схема наложения УЗК на РЖ, проходящую через ультразвуковой инструмент, который находится на малом расстоянии от зоны обработки (рис. 5а). В данной схеме проблемы, связанные с жесткостью ЭИ, малозначимы. Однако приведенная схема

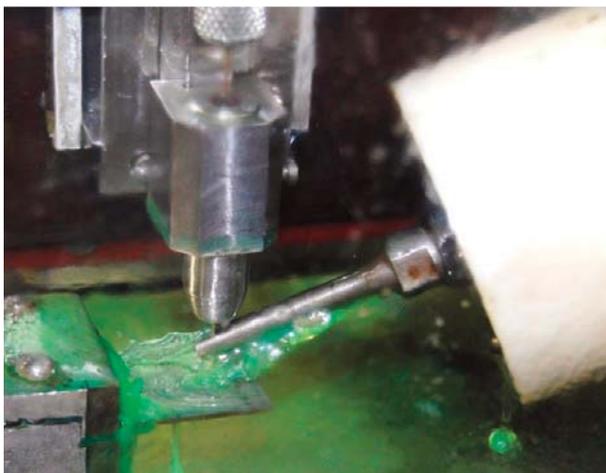


Рис. 6. Наложение УЗК на жидкость, проходящую через ультразвуковой инструмент

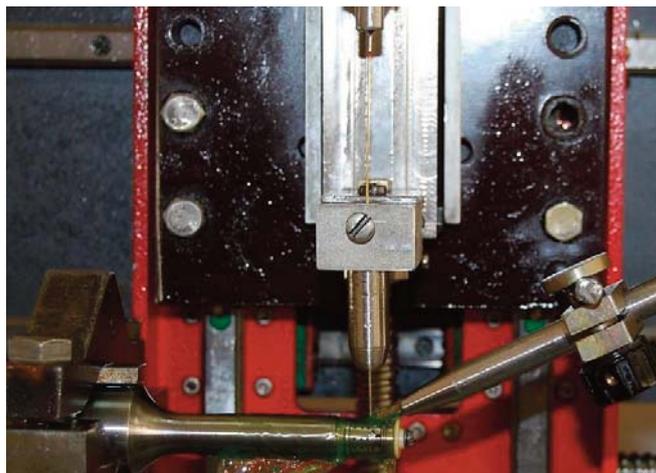


Рис. 8. Наложение УЗК на ЭИ



Рис. 7. Наложение УЗК на обрабатываемую деталь

не гарантирует эффективную передачу УЗК, способных внести определяющий вклад в прошивку отверстия.

Еще одна схема позволяет осуществлять наложение УЗК на обрабатываемую деталь, которая закрепляется на торце ультразвукового инструмента и погружается в ванну с РЖ (рис. 5б). Посредством УЗК в жидкости возбуждаются механические УЗ частоты, которые способствуют эвакуации продуктов эрозии. Распределение УЗК по всей площади обрабатываемой детали неравномерно и, как следствие, интенсивность эвакуации продуктов обработки будет уменьшаться в периферийной области детали.

Наиболее производительной схемой наложения УЗ поля является вариант с наложением УЗК на ЭИ (рис. 5в). Главной особенностью приведенной схемы является возможность обработки тел вращения (форсунки) и плоских деталей (пластины). РЖ подается в зону обработки поливом.

Схема наложения УЗК на ЭИ является наиболее эффективной, появляется возможность осуществить вра-

щение инструмента и прокачку РЖ через трубчатый инструмент.

Приведенные данные экспериментальных результатов позволяют сравнить методы ЭЭО по технологическим показателям длительности обработки и качества полученной поверхности, тем самым дают представление о влиянии УЗК на производительность, точность и качество электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра.

Из теоретических и практических выкладок авторов, занимающихся предметным анализом ЭЭО, известно, что при проведении процесса электроэрозионной прошивки отверстия проявляется множество случайных факторов, влияющих на результат. В связи с этим проведена обработка данных на основании результатов прошивки около 1670 отверстий латунными ЭИ, диаметром 0,7 мм; графитовыми ЭИ, диаметром 0,5 мм и вольфрамовыми ЭИ, диаметрами 1 и 3 мм соответственно. Детали, подвергающиеся обработке, представляют собой пластины толщиной 1 и 3 мм и форсунки, толщина стенок которых достигает 1 мм.

Время обработки фиксировалось тарированным секундомером, износ инструмента фиксировали по касанию поверхности детали до и после обработки.

Графическая интерпретация результатов сравнительного анализа двух методов ЭЭО показана на рис. 9–19 в виде проекций зависимости времени обработки к толщине стенки обрабатываемой детали и соответствующему износу ЭИ, где t – время обработки; d – толщина стенки обрабатываемой детали; h – износ ЭИ.

Из приведённых графиков следует, что наибольшее снижение времени прошивки отверстий в образцах пластин и форсунок наблюдается при наложении УЗК на латунный ЭИ при подаче РЖ поливом в зону обработки, что приводит к повышению производительности процесса за счёт предотвращения КЗ между ЭИ и обрабатываемой деталью.

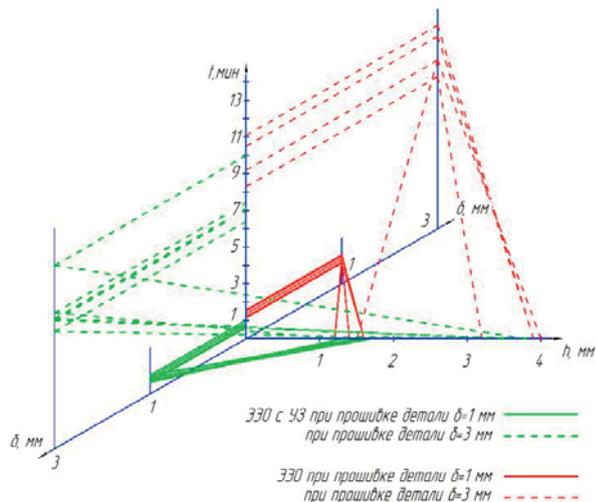


Рис. 9. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий в пластинах латунным ЭИ при подаче РЖ через УЗ инструмент

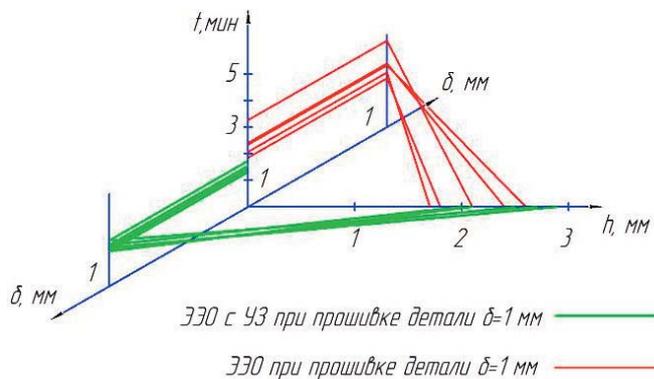


Рис. 12. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий в форсунках латунным ЭИ при наложении УЗК на ЭИ и подаче РЖ поливом в зону обработки

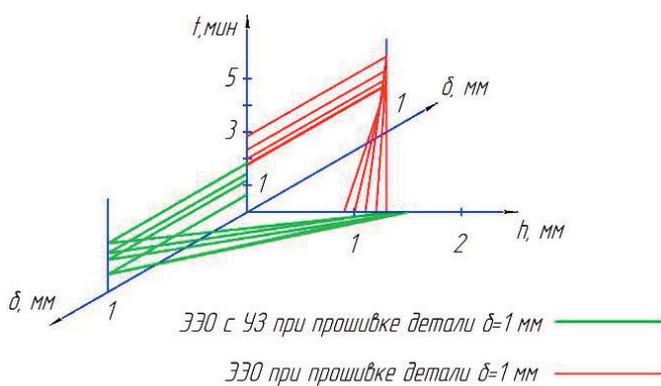


Рис. 10. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий в пластинах латунным ЭИ при наложении УЗК на пластину и её погружении в ванну с РЖ

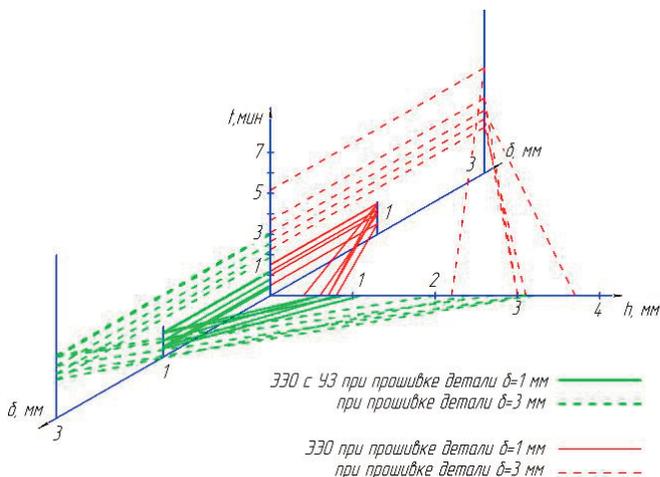


Рис. 13. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий в пластинах графитовым ЭИ при подаче РЖ через УЗ инструмент

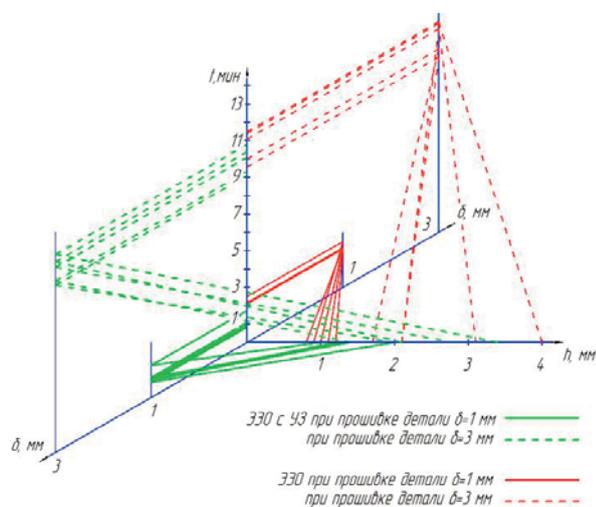


Рис. 11. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий в пластинах латунным ЭИ при наложении УЗК на ЭИ и подаче РЖ поливом в зону обработки

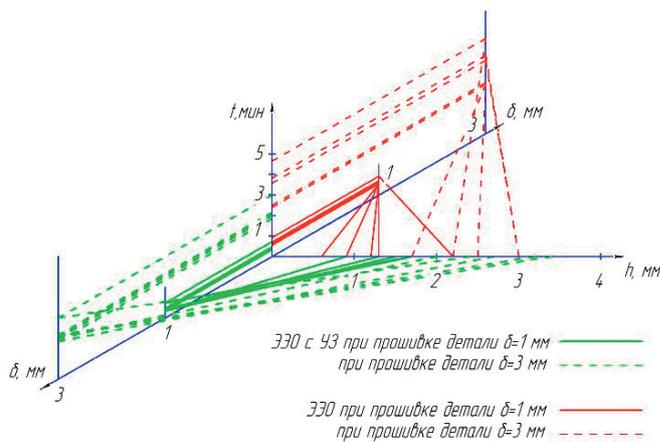


Рис. 14. Сравнение двух методов ЭЭО при прошивке отверстий в пластинах графитовым ЭИ при наложении УЗК на деталь и подаче РЖ поливом в зону обработки

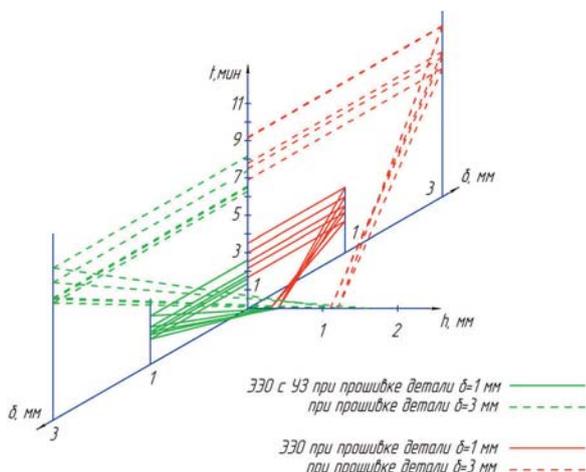


Рис. 15. Сравнение двух методов ЭО при прошивке отверстий в пластинах вольфрамовым ЭИ, диаметром 1 мм, при подаче РЖ через УЗ инструмент

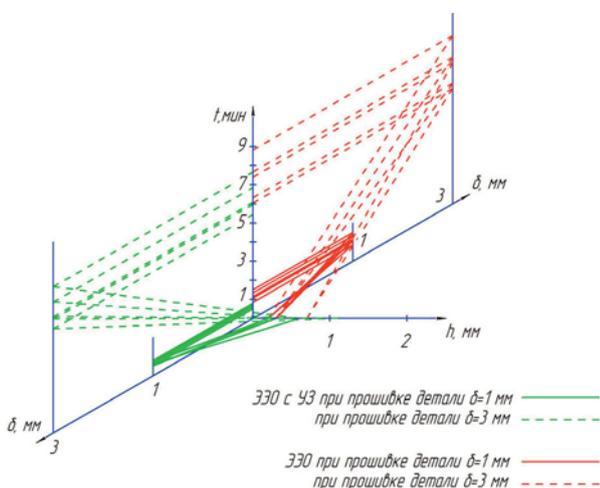


Рис. 16. Сравнение двух методов ЭО при прошивке отверстий в пластинах вольфрамовым ЭИ, диаметром 1 мм, при наложении УЗК на деталь и подаче РЖ поливом в зону обработки

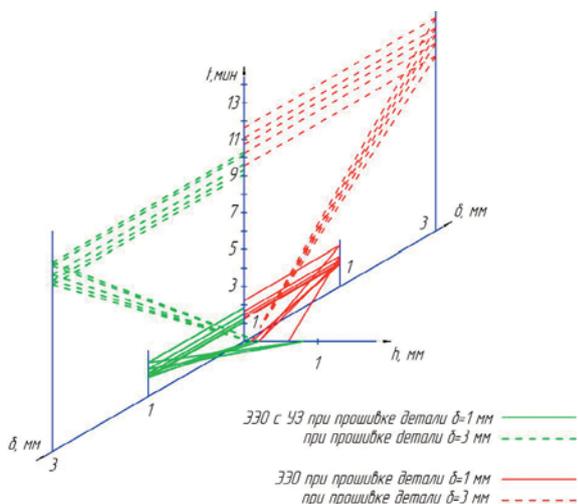


Рис. 19. Сравнение двух методов ЭО при прошивке отверстий в пластинах вольфрамовым ЭИ, диаметром 3 мм, при наложении УЗК на деталь и подаче РЖ поливом в зону обработки

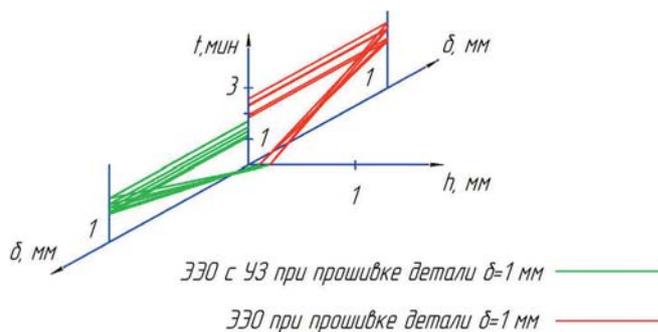


Рис. 17. Сравнение двух методов ЭО при прошивке отверстий в форсунках вольфрамовым ЭИ, диаметром 1 мм, при наложении УЗК на деталь и подаче РЖ поливом в зону обработки

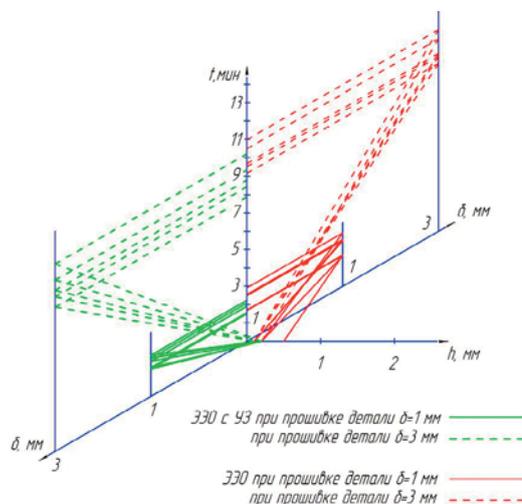


Рис. 18. Сравнение двух методов ЭО при прошивке отверстий в пластинах вольфрамовым ЭИ, диаметром 3 мм, при подаче РЖ через УЗ инструмент

Наблюдаемое повышение производительности является следствием интенсификации эвакуации продуктов эрозии из МЭП при наложении УЗ поля. Это означает, что торцевой МЭП перед каждым разрядом заполнен рабочей жидкостью, а содержание твёрдых и газообразных включений в нем при ЭО с УЗ существенно меньше.

Приведённые графические интерпретации полученных численных значений позволили дать количественную оценку взаимосвязи времени обработки от износа ЭИ с учетом различных схем наложения УЗК при прошивке отверстий в образцах пластин и форсунок. Приведённые доводы свидетельствуют о прямой зависимости производительности ЭО от скорости эвакуации продуктов эрозии из МЭП.

Таким образом, найденные режимы позволяют осуществить внедрение в технологический процесс электроэрозионной обработки электрических параметров комбинированного метода обработки для использования в лаборатории зачистных и ультразвуковых технологий ФГУП «НПО «Техномаш» и научно-технических центрах предприятий РКП.



◆ СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ

УДК 629.78:658.562

Поморцев П.М., Шломин М.А.

Особенности совершенствования нормативного обеспечения системы метрологического обеспечения создания изделий ракетно-космической техники

Любая целенаправленная и регулируемая деятельность, в том числе по созданию перспективной ракетно-космической техники (РКТ) в рамках государственных и федеральных целевых программ, организуется и проводится в соответствии с действующими законодательными и нормативными правовыми актами (НПА), а также разработанными в их развитие нормативными и методическими документами. При этом состояние нормативно-правовой базы (НПБ) в значительной степени определяет качество решения практических задач, а проблемы нормативно-правового характера лежат в основе большинства неурегулированных на практике вопросов.

Нормативную основу действующей в области метрологического обеспечения РКТ отраслевой системы метрологического обеспечения качества (ОСМОК) можно рассматривать в широком и узком смысле.

В узком смысле нормативная основа ОСМОК включает собственно отраслевые документы различных видов (отраслевые стандарты, отраслевые руководящие документы, отраслевые рекомендации, стандарты организаций отрасли и др.).

Согласно Федеральному закону от 27.12.2002 №184-ФЗ «О техническом регулировании» и Федеральному закону от 29.06.2015 №162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» не предусмотрен такой вид стандарта, как отраслевой стандарт.

Вместе с тем, отраслевые стандарты, регламентирующие вопросы по ОСМОК, вошли в том №5 Сводного перечня документов по стандартизации оборонной продукции (ДСОП). Согласно Федеральному закону от 29.06.2015 №162

«О стандартизации в Российской Федерации» срок их применения разрешён до 2025 года.

В широком смысле нормативная основа ОСМОК включает не только отраслевые документы, но и законодательные, нормативные правовые акты, а также документы по стандартизации государственного (национального) уровня (государственные военные, межгосударственные и национальные стандарты), регламентирующие вопросы метрологического обеспечения, положения которых организации (предприятия) отрасли реализуют в своей деятельности.

В соответствии с п. 1.5 ОСТ 92-4284-88 «Отраслевая система метрологического обеспечения качества. Основные положения» нормативной основой ОСМОК является комплекс отраслевых стандартов и других отраслевых нормативно-технических документов (НТД) по метрологическому обеспечению (в соответствии с действующей в то время системой федеральных органов исполнительной власти). При этом НТД ОСМОК классифицированы по пяти группам. Состав групп приведён в табл. 1.

НТД ОСМОК разработаны в период 1973–1989 гг., то есть 25–40 лет назад в период отсутствия отечественного законодательства об обеспечении единства измерений (первый законодательный акт в области обеспечения единства измерений принят в 1993 г. – Закон РФ от 27.04.1993 №4871-1 «Об обеспечении единства измерений»).

Неотъемлемой составной частью нормативно-правовой базы в области метрологического обеспечения РКТ является фонд документов по стандартизации оборонной продукции (ДСОП), который стал действенным регули-

Таблица 1 – Классификация НТД ОСМОК

Шифр группы	Наименование группы НТД
0	Правила организации работ по метрологическому обеспечению предприятия
1	Требования по метрологическому обеспечению в конструкторской и технологической документации
2	Планирование метрологического обеспечения изделий на стадиях их создания
3	Требования по поддержанию технического состояния средств измерений
4	Контроль и оценка состояния метрологического обеспечения предприятий



рующим и нормирующим инструментом в процессе создания оборонной продукции.

В общем виде фонд ДСОП включает документы по стандартизации трех уровней:

- 1 уровень – государственные (межгосударственные, национальные) стандарты;
- 2 уровень – отраслевые стандарты;
- 3 уровень – стандарты организаций.

Действующие в настоящее время ДСОП, в том числе государственные военные стандарты Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), разработаны более 15–20 лет назад и по многим позициям не в полной мере соответствуют новому законодательству об обеспечении единства измерений и нормативным правовым актам, принятым в его развитие.

Отдельные действующие государственные военные стандарты системы ГСИ («метрологические» стандарты), а также другие государственные военные стандарты, регламентирующие метрологические требования, не в полной мере соответствуют (или не соответствуют) действующему законодательству об обеспечении единства измере-

ний (сами подлежат безотлагательной актуализации), вследствие чего их использование при актуализации отраслевых стандартов ОСМОК, регулирующих вопросы метрологического обеспечения РКТ, является нецелесообразным.

В качестве подтверждающего примера, можно привести следующее. В соответствии с Программой работ по стандартизации РКТ на период 2016–2020 гг. в текущем году в рамках составной части НИР «Гарантия-С-Техномаш» проведены исследования по оценке научно-технического уровня восьми НДТ ОСМОК. Практически по всем документам предприятия отрасли прислали заключения о несоответствии стандартов требованиям действующего законодательства.

Таким образом, оценка соответствия отраслевых стандартов в области метрологического обеспечения РКТ действующему законодательству об обеспечении единства измерений должна проводиться комплексно и в отношении всех видов вышестоящих документов (законодательные и нормативные правовые акты, государственные военные стандарты), содержащих метрологические требования.

◆ ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.78

Чичварин В.Ф.

Технологическое обеспечение многоразовой космической системы «Энергия-Буран»

Постановлением Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР от 17.02.1976 №132-51 развёрнуты работы по созданию многоразовой космической системы (МКС) «Энергия-Буран» в составе сверхтяжелой ракеты-носителя «Энергия» и орбитального самолёта «Буран».

Создание МКС «Энергия-Буран» стало самой масштабной космической программой в истории отечественной космонавтики.

В ней аккумулирован многолетний опыт и потенциал ракетно-космической промышленности и передовые достижения свыше 1200 предприятий и организаций 100 министерств и ведомств страны, участвовавших в создании МКС.

Конструктивно-технологические особенности МКС:

- сложная пакетная компоновка с орбитальным самолётом и стартово-стыковочным блоком;
- крупногабаритный (диаметр 7,7 м, длина 59,0 м) «вафельной» конструкции кислородно-водородный блок «Ц»

с агрегатами корпуса, исключаящими их транспортировку наземным транспортом;

- первые отечественные кислородно-водородные двигатели большой (190 тс) тяги РД-0120;
- мощные с рекордными показателями по тяге (740 тс) двигатели РД-170;
- наличие мощных прецизионных рулевых приводов с тяговыми усилителями до 50 тс на блоках «А» и до 33 тс на блоке «Ц»;
- наличие на блоке «Ц» крупногабаритных сложных агрегатов автоматики и трубопроводов ПГС, в том числе на водородных магистралях;
- новые конструкционные материалы с повышенными физико-механическими свойствами (в том числе термоупрочняемый сплав 1201) и новые теплоизоляционные и теплозащитные покрытия;
- применение электронно-лучевой сварки для изготовления крупногабаритных обечаек топливного бака блока «Ц».



Рис. 1. МКС «Энергия-Буран» на старте космодрома Байконур



Высокая трудоёмкость и длительный цикл изготовления потребовали разработки и освоения принципиально новых технологий, технологического оборудования и средств технологического оснащения.

Главная роль по технологическому обеспечению создания МКС возлагалась на НИИ технологии машиностроения (НИИТМ, сейчас – ФГУП «НПО «Техномаш»).

Для создания МКС «Энергия-Буран» разработано и освоено свыше 300 принципиально новых технологий и около 1000 единиц уникального оборудования и средств технологического обеспечения.

Особенно много технологических проблем возникло при постановке на производство крупногабаритного (диаметр 7,7 м, длина 40,0 м) кислородно-водородного бака центрального блока вафельной конструкции из нового термоупрочняемого алюминиевого сплава 1201 и сложным теплоизоляционным покрытием.

Бак состоял из цилиндрических обечаек (плиты толщиной 40 мм) с внутренним вафельным фоном и сферических днищ со шпангоутами больших сечений.

Сплав 1201 имеет повышенную склонность к пористости и трещинообразованию при сварке.

Для изготовления кислородно-водородного бака специалисты НИИТМ создали уникальное технологическое оборудование, в том числе:

- шестишпindelный станок с программным управлением СВО-22 для изготовления вафельного фона (2,5 тысячи ячеек на одной обечайке) на обечайках с точностью $\pm 0,1$ по полотну и $\pm 1,5$ по ребру ячейки. Аналогичный станок СВО-21 применялся для изготовления баков боковых блоков диаметром 3,9 м;

- установка ЛУЧ-4М с локальной вакуумной камерой для электронно-лучевой сварки продольных швов обечаек;

- вертикальный стенд для пневмогидравлических испытаний и тарировки ёмкостей;

- вертикальный стенд для автоматизированной струйной очистки баков;

- вращающийся стенд для нанесения теплоизоляционных покрытий на баки;

- трубогибочный станок с ЧПУ для высокоточной гибки труб сложной пространственной конфигурации;

- установка УСС (от проекта Н1-Л3 с доработкой) для сборки-сварки днищ топливных баков.

Также созданы и отработаны принципиально новые технологические процессы, в том числе:

- калибровка лепестков днищ топливных баков блока «Ц» из сплава 1201 больших толщин;

- сборка-сварка днищ топливных баков блока «Ц» из сплава 1201;

- изготовление из плит (исходная толщина 40 мм) крупногабаритных «вафельных» обечаек, включая гибку на гибочной машине «Верина», получение «вафельного» фона на станках СВО-22, локальную электронно-лучевую сварку продольных швов обечаек на установке «ЛУЧ-4М»;

- сборка-сварка бака «Г» блока «Ц» на вертикальном стенде с применением аргодуговой сварки в управляемом электромагнитном поле (ИДСП);

- контактно-стыковая сварка крупногабаритных шпангоутов больших сечений;

- пневмогидравлические испытания топливных баков;

- криогенно-статических испытаний топливных баков блока «Ц» на уникальном стенде при сверхнизких температурах с приложением внутренних и внешних нагрузок;

- гидравлические, пневматические испытания и тарировка топливных баков блока «Ц»;

- автоматизированная струйная очистка топливных баков блока «Ц»;

- нанесение теплоизоляционного (Рипор) и теплозащитных покрытий на топливные баки и трубопроводы блока «Ц», неразрушающих методов контроля этих покрытий.

Создание маршевых ракетных двигателей РД-170 (НПО «Энергомаш») и РД-0120 (КБХА) для ракеты-носителя «Энергия» являлось чрезвычайно сложной научно-технической задачей, не имеющей аналогов в мировом ракетном двигателестроении, в решение которой наряду с головными разработчиками принимали участие ведущие научные и промышленные организации страны.

Специалисты НИИТМ совместно с предприятиями ВМЗ и НПО «Энергомаш» при постановке на производство двигателей РД-0120 и РД-170 разработали технологии и оборудование для крупногабаритного высокоточного литья из жаропрочных сплавов, диффузионного сращивания деталей с одновременным деформированием в сверхпластичном состоянии, изготовления рабочих колес водородного насоса и турбины методом порошковой металлургии, удаления заусенцев при фрезеровании каналов охлаждения кавитационно-импульсным гидроабразивным методом, дифференциальной электрохимической обработки оболочек сопел камер сгорания, изготовления крупногабаритных бесшовных профилированных оболочек, высокотемпературной пайки в глубоком вакууме, электронно-лучевой сварки. Эти и другие технологии, освоенные при изготовлении двигателей МКС «Энергия-Буран»,



Рис. 2. Коллектив разработчиков и испытателей МКС «Энергия-Буран»

создали потенциальные возможности для создания жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) новых поколений.

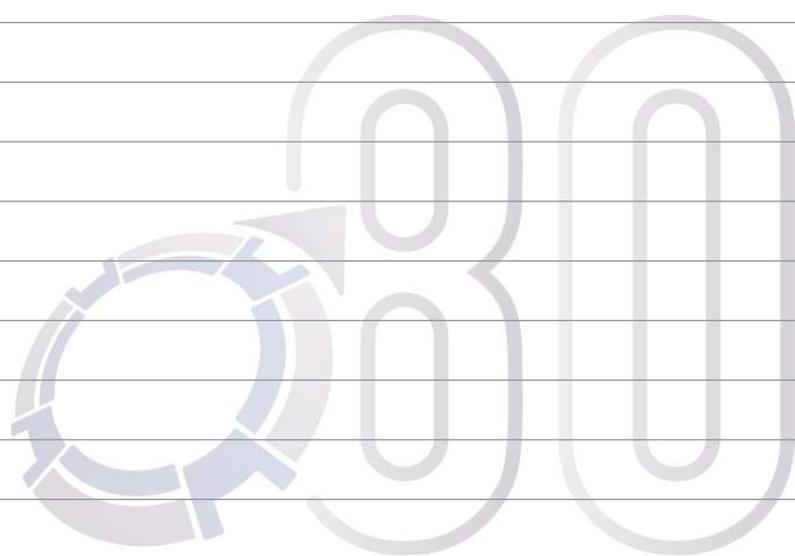
Также специалисты НИИТМ принимали участие в технологическом обеспечении изготовления агрегатов боковых блоков и объединенной двигательной установки (ОДУ) на Заводе экспериментального машиностроения, рулевых приводов на машиностроительном заводе «Арсенал», стартово-стыковочного блока на Обуховском заводе, определения координат центра масс орбитального самолета «Буран» на техническом комплексе космодрома Байконур.

Научно-технический потенциал НИИТМ дополняли филиалы и базовые подразделения, находившиеся на ведущих предприятиях отрасли, которые также включались в работу по технологическому обеспечению производства МКС «Энергия-Буран». При необходимости в филиалы и базовые подразделения командировались высококвалифицированные специалисты головного института.

Для отработки технологических процессов и решения возникающих вопросов непосредственно на предприятиях-изготовителях элементов МКС создавались комплексные бригады специалистов института необходимого профиля, численность которых доходила до 80–100 человек. Командировались такие бригады на Самарский завод «Прогресс», Южный машиностроительный завод, Завод экспериментального машиностроения, Воронежский механический завод, НПО «Энергомаш» и другие предприятия отрасли, а также непосредственно на технический комплекс космодрома Байконур, где проходили окончательная сборка и испытания МКС «Энергия-Буран».

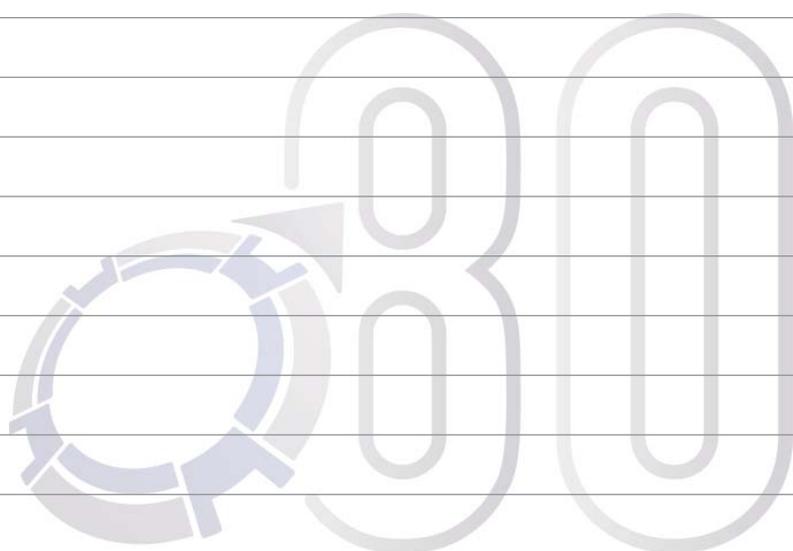
Созданный в НПО «Техномаш» в процессе изготовления МКС «Энергия-Буран» научно-технический потенциал не только обеспечил производственно-технологическую реализуемость проекта, но и подготовил задел для дальнейшего развития отечественной ракетно-космической отрасли.

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



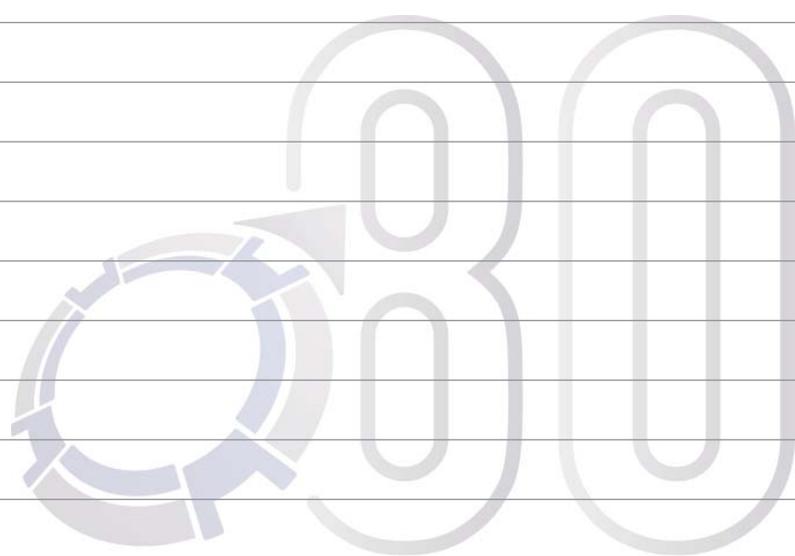
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



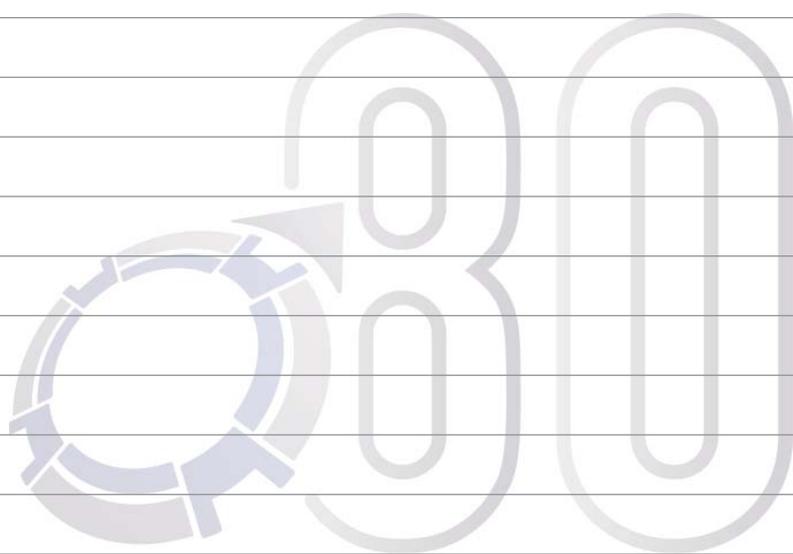
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



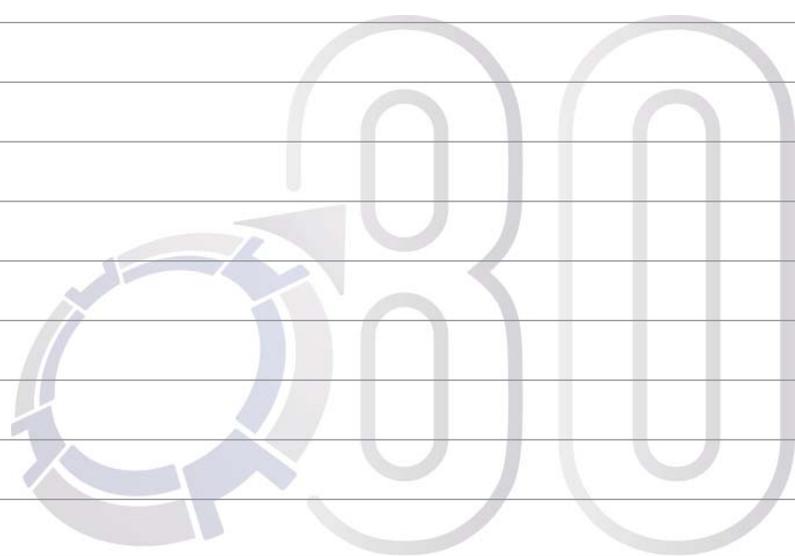
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



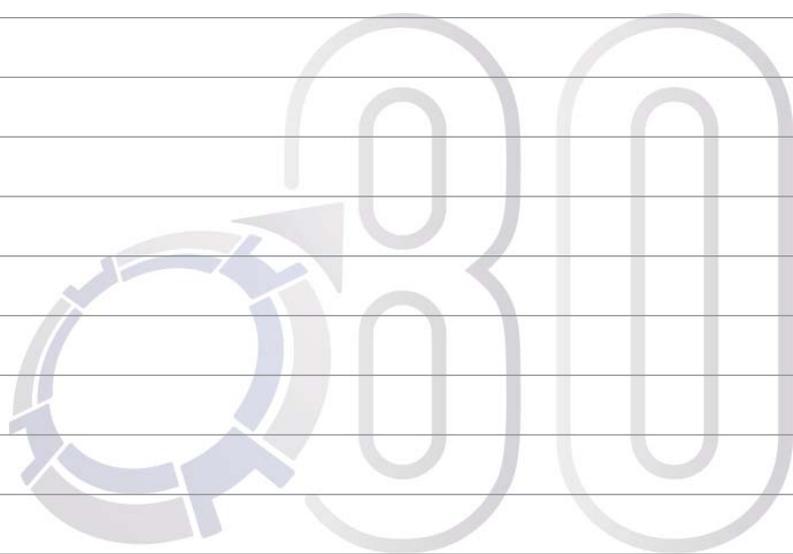
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



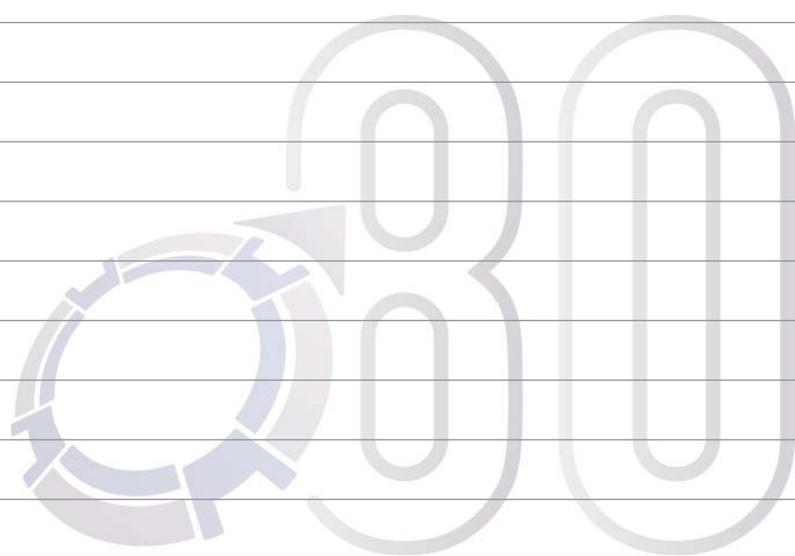
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



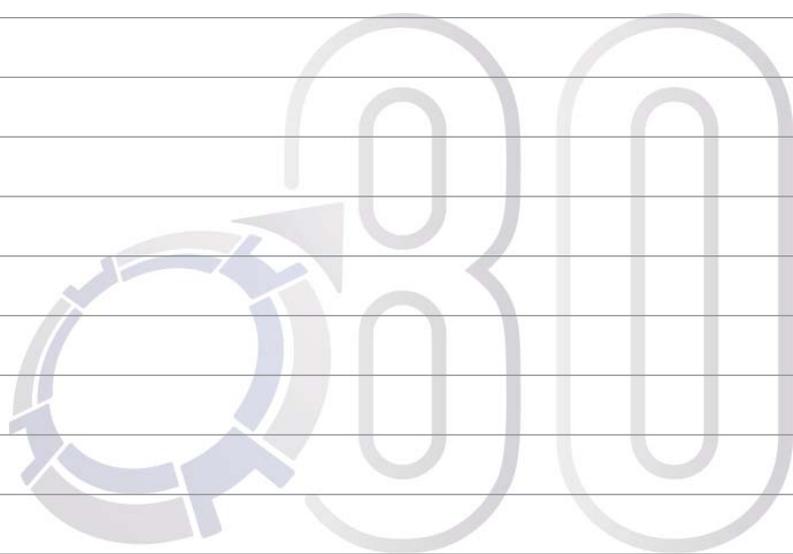
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



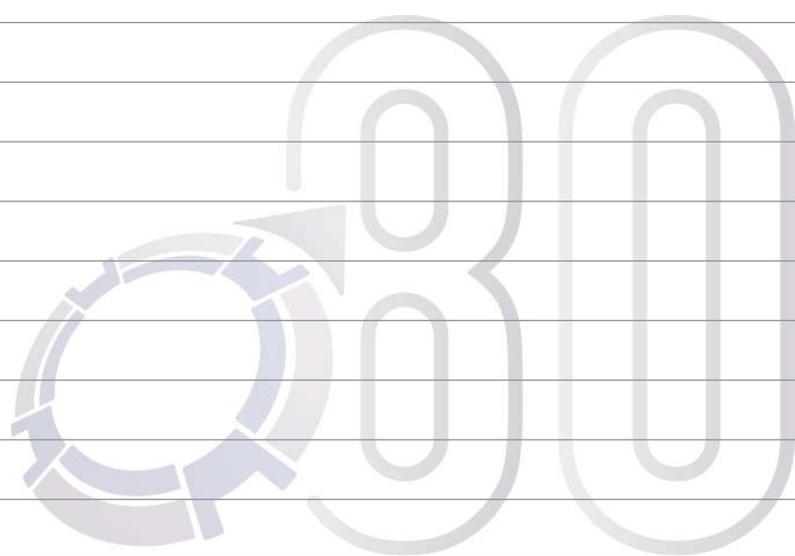
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



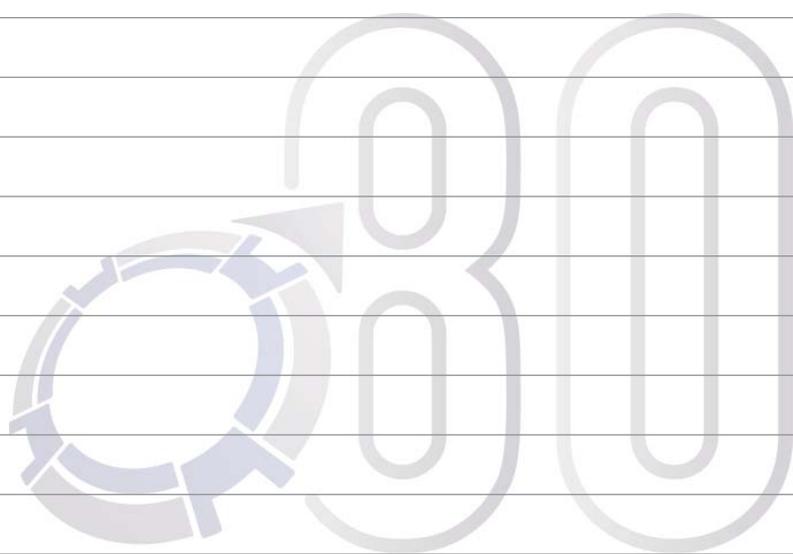
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



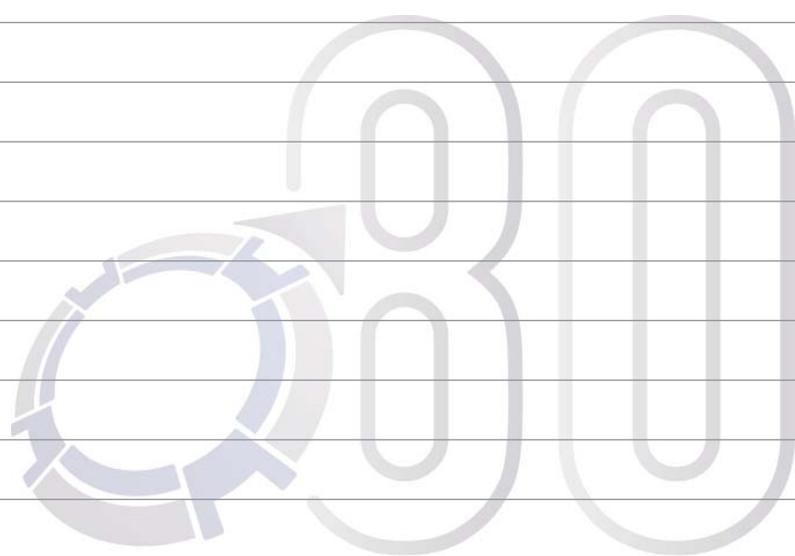
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



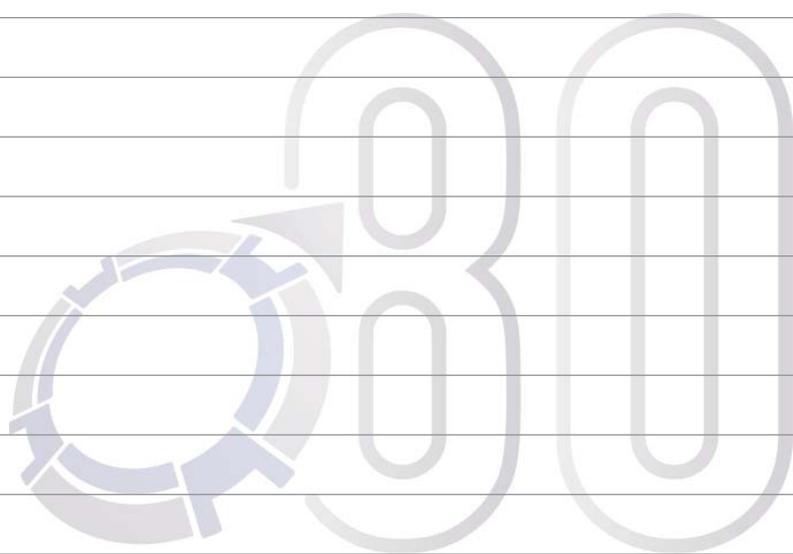
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



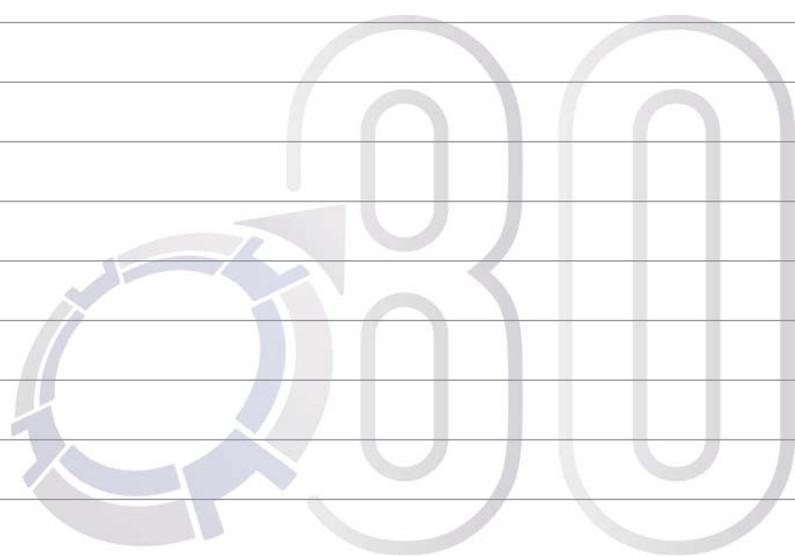
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



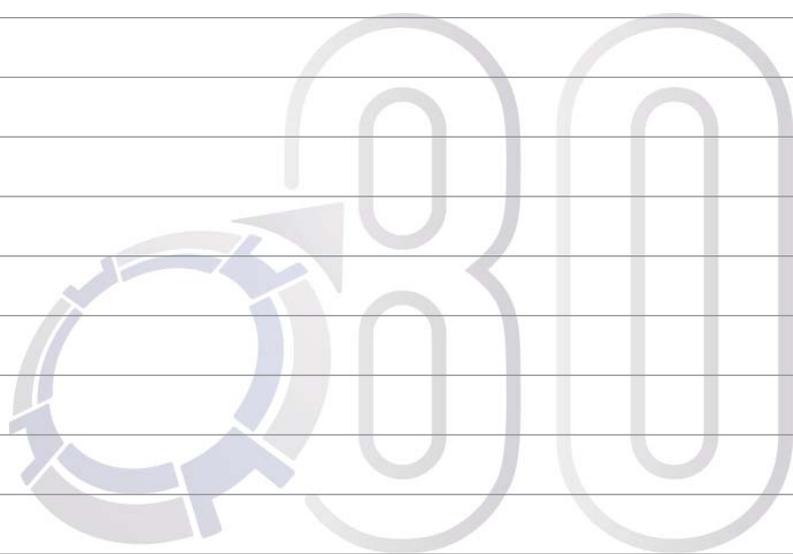
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



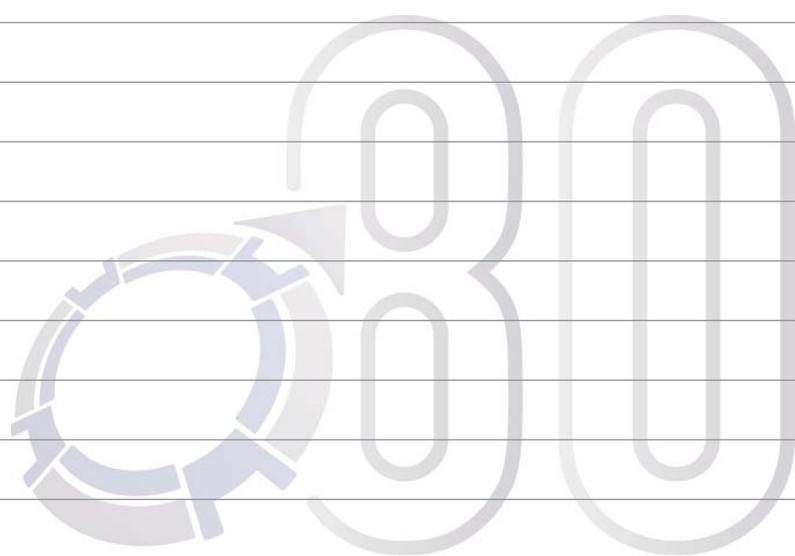
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



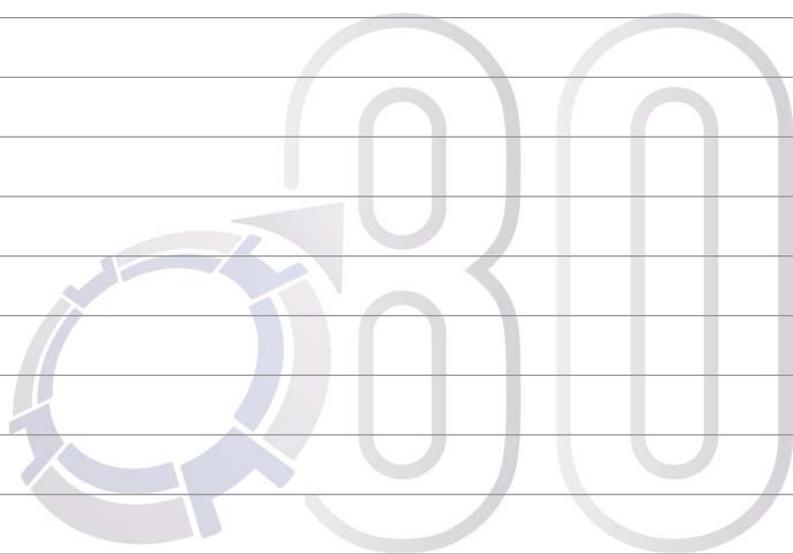
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



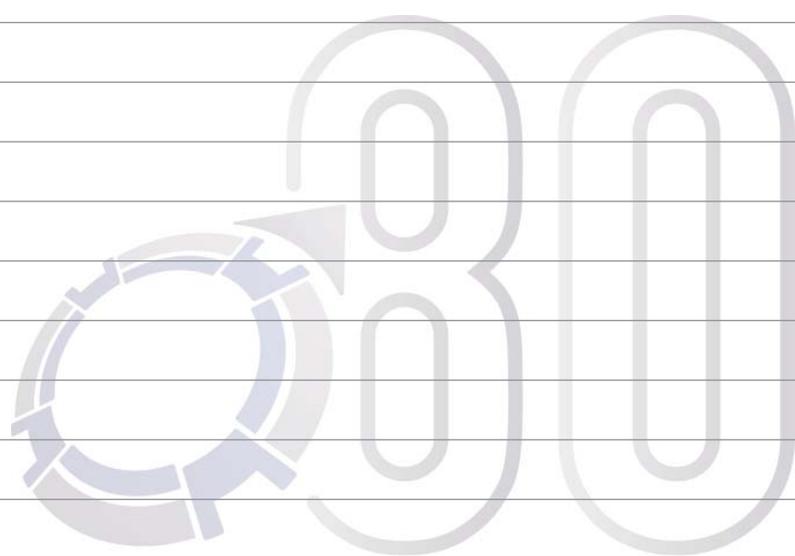
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



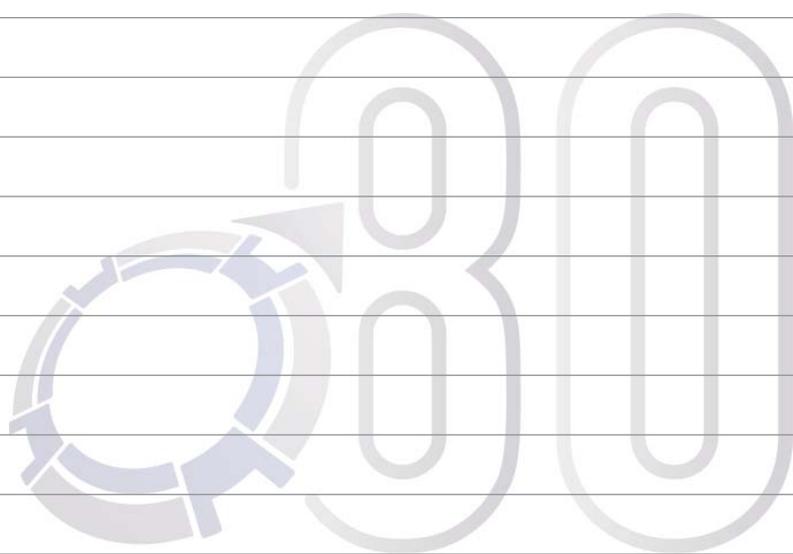
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



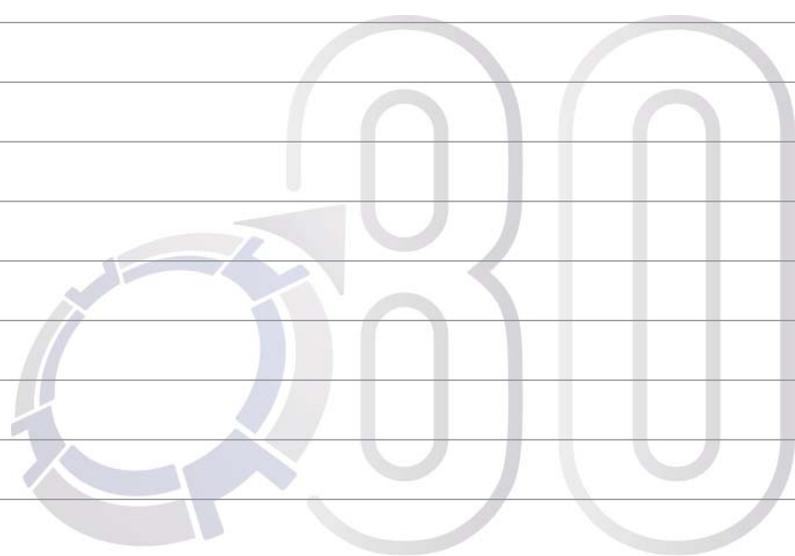
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



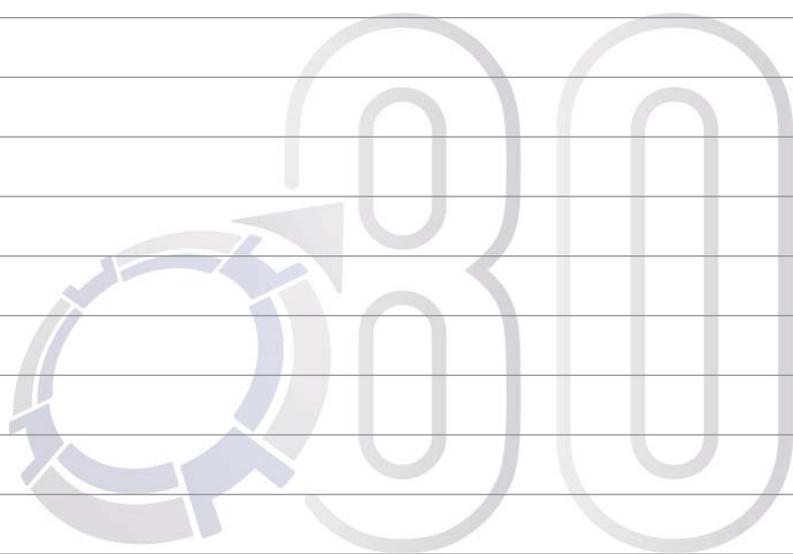
НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018

◆ ДЛ Я ЗАМЕТОК



НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018



80

НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018



ФГУП «НПО «ТЕХНОМАШ»
г. Москва
3-й проезд Марьиной Рощи, д.40
www.tnpro.ru