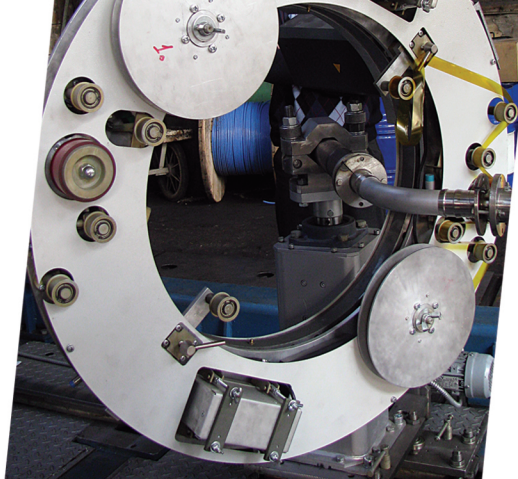
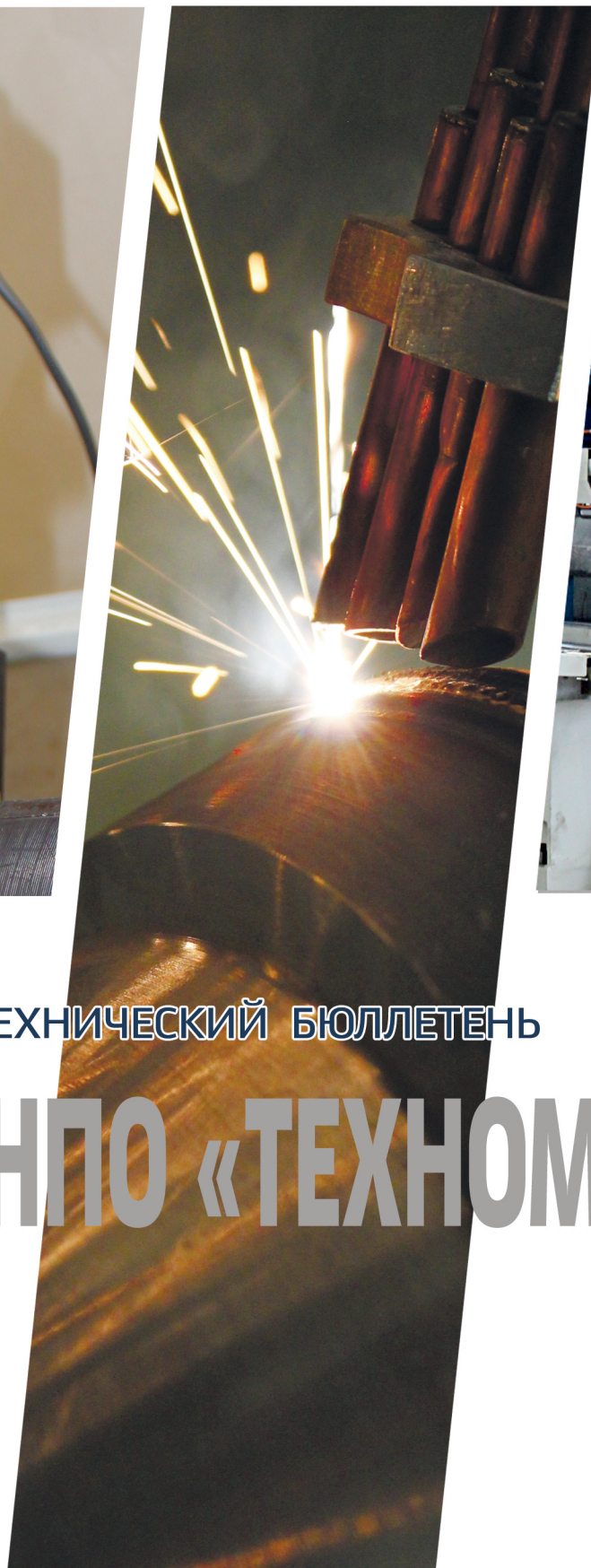
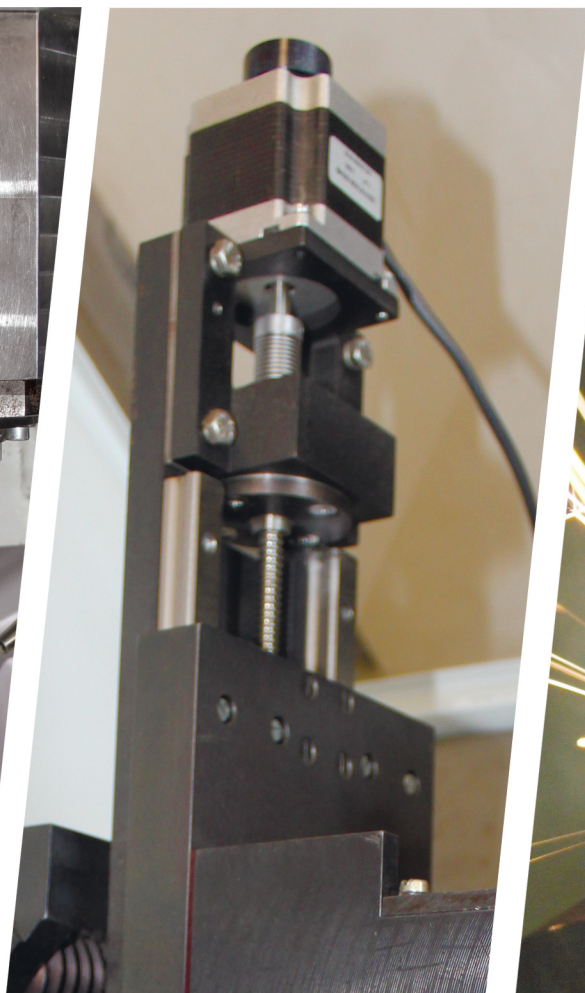
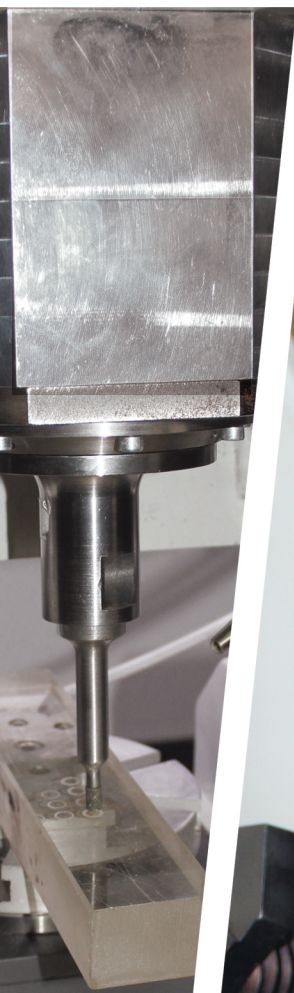




НПО ТЕХНОМАШ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
РОСКОСМОС

Выпуск №4

2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ
ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»

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

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

Редакционная коллегия:

Д.В. Панов
И.С. Рубцов
А.В. Бараев
Х.И. Бичурин
Е.Ю. Миненко
Д.А. Муртазин
В.А. Исаченко
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

С.О. Брылёв

Отпечатано в ООО «КЛУБ ПЕЧАТИ»
127018, Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, к. 1
Тел.: +7 (495) 669-50-09
www.club-print.ru

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 ЧИТАТЕЛИ!**

Вы держите в руках очередной, четвёртый выпуск научно-технического бюллетеня «Вестник «НПО «Техномаш».

История ФГУП «НПО «Техномаш» – это история развития отечественной промышленности, рождения и становления ракетно-космической отрасли, успехов России на пути освоения космического пространства. В 2017 г. мы отметили знаменательные памятные даты – 70 лет со дня запуска первой межконтинентальной баллистической ракеты, 60 лет со дня запуска первой ракеты-носителя «Р-7» и первого искусственного спутника Земли, 40 лет со дня запуска долговременной орбитальной станции «Салют-6», 30 лет со дня запуска ракеты-носителя «Энергия» и другие.



30 августа 2017 г., в день 99-летия со дня рождения первого министра общего машиностроения СССР, дважды Героя Социалистического труда С.А. Афанасьева, состоялись «Четвертые Афанасьевские чтения» с участием представителей более 40 организаций и предприятий отрасли.

В 2018 году мы будем отмечать вековой юбилей со дня рождения С.А. Афанасьева. Его жизнь стала частью эпохи, частью великой истории нашей Родины – страны, давшей миру первый космический спутник и первого в мире человека, преодолевшего земное притяжение. «Эпоха Афанасьева» не прошла до сих пор. Она продолжается, но теперь перед нами стоят совершенно другие задачи. При этом по-прежнему в основе нашей работы лежат важнейшие принципы системного анализа, научного подхода, тщательной реализации разработанных планов, которых неукоснительно придерживался «космический министр» Афанасьев.

Четвёртый выпуск «Вестник «НПО «Техномаш» предлагает вашему вниманию новые статьи наших авторов, посвящённые широкому спектру научно-практических исследований, которые сейчас осуществляются на Предприятии в развитие научно-технологического наследия С.А. Афанасьева.

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

Д.В. Панов



НПО ТЕХНОМАШ



СОДЕРЖАНИЕ

♦ ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

<i>Кожевников Е.М., Морозов В.С., Казаков Ю.И., Казаков А.В., Лавров К.В. (АО «НИИ «Гермес»), Бараев А.В., Должанский Ю.М., Кологов А.В. (ФГУП «НПО «Техномаш»)</i>	
Передовые технологии и оборудование производственного контроля и испытаний ДСЕ изделий РКТ	4
<i>Кологов А.В., Соловьев В.Н., Тихомиров К.А., Барышников В.И.</i>	
Локальные методы контроля в масс-спектрометрическом течеискании	12
<i>Кологов А.В., Соловьев В.Н., Тихомиров К.А., Барышников В.И.</i>	
Перспектива метрологии современного гелиевого течеискания	16
<i>Антонова С.С., Макаров И.И., Кочкин Е.В.</i>	
Тарирование автоматизированного высокоточного балансирующего оборудованиястендов типа «ЦМ»	20
<i>Писаренко А.А., Ковалев А.М.</i>	
Механообрабатывающий комплекс модели «ОСКО-2500» для фрезерования прямых каналов охлаждения на поверхности КС ЖРД	25
<i>Шемякин С.С.</i>	
Идентификация динамических характеристик механических систем по переходным процессам изделий РКТ.....	27

♦ ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

<i>Бараев А.В., Должанский Ю.М., Кологов А.В., Тихомиров К.А., Хилков К.В.</i>	
Новые инновационные технологии неразрушающего контроля труднодоступных мест ДСЕ ЖРД типа РД 171, РД180, РД191	28

♦ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ РКТ

<i>Бараев А.В., Илингина А.В., Должанский Ю.М.</i>	
К вопросу сопровождения разработки и производства изделий РКТ	33
<i>Кологов А.В., Савельев А.А., Первозников А.Ю.</i>	
Направления деятельности лаборатории вакуумных покрытий.....	36

♦ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

<i>Кулик В.И., Картузов Н.О., Гудков А.В., Машко Р.В.</i>	
Современное оборудование для электронно-лучевой сварки крупногабаритных корпусных конструкций изделий РКТ	39

♦ ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

<i>Чичварин В.Ф.</i>	
К 60-й годовщине создания первой межконтинентальной баллистической ракеты Р7 и запуска первого искусственного спутника Земли.....	45

♦ ЮБИЛЕЙ ФКР

<i>Коваленок В.В., Кузнецов В.И., Борденков В.В.</i>	
К 40-летию Федерации космонавтики России	49

УДК 629.78

*Кожевников Е.М., Морозов В.С., Казаков Ю.И., Казаков А.В., Лавров К.В. (АО «НИИ «Гермес»),
Бараев А.В., Должанский Ю.М., Кологов А.В. (ФГУП «НПО «Техномаш»)*

Передовые технологии и оборудование производственного контроля и испытаний ДСЕ изделий РКТ

АО «НИИ «Гермес» является одним из разработчиков новых технологий и технологических средств в обеспечение производственного контроля и испытаний опытного и серийного производства изделий ракетно-космической техники (РКТ).

В статье представлены результаты последних разработок института в этом направлении.

Контрольные газовые течи пробных газов (гелий, аргон, элегаз, азот и др.)¹

Необходимый уровень герметичности РКТ поддерживается контролем изготавливаемых деталей и сборочных единиц (ДСЕ) на соответствие установленным требованиям.

Оценка негерметичности производится путём сравнения измеренной утечки контрольных газов и жидкостей с допустимыми потоками из специальных устройств – контрольных течей.

При контроле герметичности изделий в различных отраслях промышленности для настройки течеискательной аппаратуры и определения негерметичности объектов испытания применяются контрольные течи в диапазоне потоков $10^{-3} \dots 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Номенклатура, особенности и основные элементы устройства разработанных для нужд отрасли контрольных газовых течей приведена ниже:

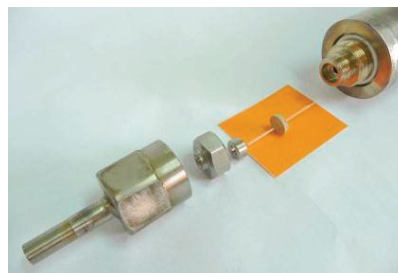
а) течь с манометром



В контрольной газовой течи с манометром для обеспечения стабильного потока пробного газа используется стеклянный капилляр.

Применение в контрольной течи манометра позволяет:

- оперативно по визуальному наблюдению на манометре за давлением газа в корпусе течи определять поток



контрольного газа по калибровочному графику, прилагаемому к паспорту на контрольную течь;

- получать требуемый поток контрольного газа по калибровочному графику, сбрасывая или заполняя течь контрольным газом.

б) течь с фторопластовым проницаемым элементом



Течь газовая с фторопластовым проницаемым элементом является модификацией течи с манометром, проницаемый элемент которой выполнен из фторопластовой ленты Ф-4.



В зависимости от толщины ленты, площади контакта проницаемого элемента с пробным газом и количества проницаемых элементов можно варьировать величиной контрольного потока пробного газа.

¹ Информационный паспорт АО «НИИ «Гермес» №П93, 2013

в) течь капиллярная с проникаемым наполнителем



Течь газовая капиллярная с проникаемым наполнителем также является модификацией течи с манометром.

Конструктивное исполнение капиллярной газовой течи защищено патентом РФ № 2309387 на изобретение «Устройство для микродозирования газа».

Капилляр может быть заполнен любым пористым ма-



териалом, например, каучуком синтетическим термостойким низкомолекулярным СКТН, пористым никелем, пористым углеродом и т.п.

Требуемый поток пробного газа достигается диаметром отверстия капилляра, его длиной и величиной проницаемости материала наполнителя.

г) течь с перекрываемым клапаном



Течь газовая с перекрываемым клапаном предназначена для создания контрольных потоков пробных газов в диапазоне порядка $10^{-6} \dots 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

В этом случае большая величина потока способствует быстрому расходу пробного газа из баллона течи, а, следовательно, и быстрому изменению заданных характеристик течи.



В целях сохранения заданных характеристик и перекрытия потока пробного газа через проникаемый элемент, когда устройство не используется для испытаний, применяется разработанная течь с перекрываемым клапаном.

В качестве проникаемого элемента может быть использован стеклянный или металлический капилляр.

д) течь регулируемая



Течь газовая регулируемая предназначена для создания контрольных потоков пробных газов для настройки щупа течеискателя при контроле локальных негерметичностей.

Одной течью данного типа можно перекрыть весь диапазон требуемых контрольных потоков от $5 \cdot 10^{-8}$ до $10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ для настройки щупа течеискателя при поиске мест негерметичности.

При установке сменного патрубка на проникаемый элемент возможно использование данной течи для присоединения к испытуемой системе для контроля суммарной герметичности изделия.

Контрольная течь имеет баллон с пробным газом, который может быть заполнен до давления 15 МПа.

В качестве проникаемого элемента может быть использован стеклянный или металлический капилляр, а также капилляр, заполненный пористым никелем.



Проницаемые элементы предварительно прокалиброваны и для них построена графическая зависимость контрольного потока от давления.

С помощью регулятора давления производится настройка давления пробного газа в целях получения требуемого контрольного потока.

Наличие аналогов:

в России: нет; за рубежом: нет сведений.

Технический уровень разработки:

Основные сравнительные характеристики	Разработанная продукция	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
контрольная газовая течь с манометром		аналогов нет	сведений об аналогах нет
диапазон контрольных потоков, м³ Па/с	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁸		
тип проницаемого элемента	стеклянный капилляр		
относительное отклонение от среднего значения, %	± 15		
температурная поправка, %/град.	± 1		
давление пробного газа в корпусе устройства, МПа	1,5		
масса устройства, кг	1		
контрольная газовая течь с фторопластовым проницаемым элементом			
диапазон контрольных потоков, м³ Па/с	10 ⁻⁷ ...10 ⁻⁹		
тип проницаемого элемента	фторопластовая мембрана		
относительное отклонение от среднего значения, %	± 15		
температурная поправка, %/град.	± 3		
давление пробного газа в корпусе устройства, МПа	1,5		
масса устройства, кг	1		
контрольная газовая течь капиллярная с проницаемым наполнителем			
диапазон контрольных потоков, м³ Па/с	10 ⁻⁶ ...10 ⁻⁹		
тип проницаемого элемента	синтетический каучук, пористый никель и др.		
относительное отклонение от среднего значения, %	± 15		
температурная поправка, %/град.	± 2		
давление пробного газа в корпусе устройства, МПа	1,0		
масса устройства, кг	1		
контрольная газовая течь с перекрываемым клапаном			
диапазон контрольных потоков, м³ Па/с	10 ⁻³ ...10 ⁻⁷		
тип проницаемого элемента	стеклянный капилляр		
относительное отклонение от среднего значения, %	± 15		
температурная поправка, %/град.	± 1		
давление пробного газа в корпусе устройства, МПа	1,0		

Основные сравнительные характеристики	Разработанная продукция	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
масса устройства, кг	1	аналогов нет	сведений об аналогах нет
контрольная регулируемая газовая течь			
диапазон контрольных потоков, м³ Па/с	10 ⁻³ ...5·10 ⁻⁸		
тип проницаемого элемента	стеклянный капилляр и др.		
относительное отклонение от среднего значения, %	± 15		
температурная поправка, %/град.	± 1		
давление пробного газа в корпусе устройства, МПа	15,0		
масса устройства, кг	3		

Патентная защищенность разработки:

патент РФ от 27.10.2007 № 2309387 на изобретение «Устройство для микродозирования газа»

Установка контроля герметичности тепловых контуров систем терморегулирования по регистрации проникающих паров теплоносителей ЛЗ ТК-2, аммиак и др.²

Установка (рис. 1) предназначена для проведения испытаний на герметичность сборочных единиц (тепловых труб, термоплат и т.п.) тепловых контуров систем терморегулирования (СТР) космических аппаратов по регистрации проникающих паров теплоносителей при изготовлении и заключительных испытаниях СТР на герметичность.

Контроль проводился криогенно-вакуумным методом по накоплению при атмосферном давлении для рабочих сред СТР:

- теплоноситель ЛЗ-ТК-2 (ТУ 38.101388-79);
- жидкий аммиак (ГОСТ 6221-90).

Для регистрации паров рабочих сред использовался:

- блок контроля герметичности с плазменным течеискателем ТПИ-3;
- блок преобразования сигнала с датчиками TGS-826 (для регистрации паров аммиака) и TGS-822 (для регистрации паров теплоносителя ЛЗ ТК-2).



Рис. 1. Опытный образец установки (производственный участок АО «НИИ «Гермес»)

² Информационный паспорт АО «НИИ «Гермес» №П159, 2014

Наличие аналогов

- в России: нет
- за рубежом: нет

Технический уровень разработки:

Основные сравнительные характеристики	Разра- ботанная продукция	Аналоги	
		отечест- венный	зарубеж- ный
габариты рабочей камеры, м	1,4	аналогов нет	аналогов нет
– диаметр	0,89		
– глубина	1,5		
рабочий объём вакуумной камеры, м ³	50		
рабочая температура в испытательной камере, °С, не более	10 ⁻⁷ ...10 ⁻⁸		
чувствительность контроля, г/с, не хуже:	10 ⁻⁹		
– при контроле суммарной герметичности	± 60 %		
– при контроле локальной герметичности	0,005		
погрешность оценки величины негерметичности, не более	380×50		
количество жидкого азота, заливаемого в ловушку, м ³	7		
питание. В×Гц	2550×6500×		
установленная мощность, кВт	1780		
габариты установки, мм	500		
масса установки, кг	12		
гарантийный срок эксплуатации, мес.	10		
общий ресурс, лет, не менее			

Патентная защищенность разработки:

патент РФ от 27.05.2012 № 2451916 на изобретение «Способ контроля»

патент РФ от 10.09.2011 № 108142 на полезную модель «Контрольная течь»

Установка контроля герметичности ампулизованных систем изделий РКТ, заправляемых компонентами ракетного топлива «амил» и «гептил»³

Установка (рис. 2) предназначена для проверки герметичности агрегатов и систем РКТ после заполнения их компонентами жидкого ракетного топлива (КРТ) и ампулизации методом накопления паров КРТ, измерением накопленного количества и оценкой величины их потока, а также для выявления негерметичных элементов испытанных агрегатов и систем.

Установка изготовлена в герметичном исполнении, реализует криогенно-вакуумный метод отбора проб и соответствует требованиям климатического исполнения УХЛ4 по ГОСТ 15150-69.



Рис. 2. Опытный образец установки
(производственный участок АО «НИИ «Гермес»)

³ Информационный паспорт АО «НИИ «Гермес» №П165, 2015



Наличие аналогов:

- в России нет;
- за рубежом: нет.

Технический уровень разработки:

Основные сравнительные характеристики	Разрабатываемая продукция	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
рабочие объемы, м ³ :		аналогов нет	аналогов нет
– вакуумной камеры	1,33		
– камер для анализа проб	0,003		
– камеры для хранения анализируемой пробы	0,003		
рабочая температура в камерах, °С, не более	50		
остаточное давление в вакуумной камере, Па	10		
чувствительность контроля, г/с:			
– суммарной герметичности	до 10 ⁻⁸		
– аспирационным методом	до 10 ⁻⁹		
– криогенно-вакуумным методом	до 10 ⁻⁸		
– локальной герметичности			
погрешность оценки величины негерметичности, %, не более	± 60		
измеряемый диапазон концентрации:			
– по амилу, мг/м ³	0...10		
– по гептилу, мг/м ³	0...0,5		
питание. В×Гц	380×50		
установленная мощность, кВт	7		
габаритные размеры установки	3200 × 4300 × 1800		
масса установки, кг	500		
гарантийный срок эксплуатации, мес.	12		
общий ресурс, лет, не менее	10		

Патентная защищенность разработки:

патент РФ от 27.11.2012 №122479 на полезную модель «Течь-контейнер».

Установка для контроля герметичности ампулизированных систем КА по регистрации проникающих паров растворителей хладонов 113, хладонов 141b и испытаний агрегатов КА на прочность⁴

Установка (рис. 3) предназначена для:

- подготовки поверхностей и сварных швов агрегатов и систем к контролю герметичности;
- испытаний на герметичность накоплением паров проникающей жидкости, измерением накопленного количества и оценкой величины их потока;
- испытаний на прочность давлением растворителей.



Рис. 3. Опытный образец установки

⁴ Информационный паспорт АО «НИИ «Гермес» №П190, 2015



Наличие аналогов:

- в России: нет
- за рубежом: нет

Технический уровень разработки:

Основные сравнительные характеристики	Разработанная продукция	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
Габаритные размеры контролируемых изделий, мм	800 x 800 x 1000	аналогов нет	аналогов нет
Метод контроля герметичности	по утечке паров растворителя		
Применяемые растворители	хладон 113 ГОСТ 23844-79 хладон 141b ТУ24-019-00480689-94		
Чувствительность контроля, г/с	$1 \cdot 10^{-9}$		
Камера вакуумная			
внутренние размеры, мм:			
– диаметр	1400		
– длина	1400		
– объём, м ³	1,5		
– предельный вакуум, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-4}$		
температура прогрева изделия, °С	до 50		
количество растворителя в установке, л	120		
Давление растворителя в полостях контролируемых изделий, кгс/см ² , при способах повышения давления:			
– давлением пара растворителя	до 4		
– давлением сжатого воздуха	до 10		
Точка росы сжатого воздуха	–55°С		
Чистота регенерированного растворителя:			
по жировым загрязнениям, мг/л	≤ 1		
по механическим частицам (согласно ГОСТ 17216-2001)	4...5		
Расход воды, л/ч, не более	325		
Чувствительность контроля, г/с:			
– суммарной герметичности	до 10^{-9}		
– локальной герметичности	до 10^{-10}		
Надежность выявления негерметичности, %, не менее	97-99		
Установленная мощность, кВт	22		
Площадь размещения, м ²	32		
Средняя наработка установки на отказ, ч.	1600		
Ресурс эксплуатации до капремонта, лет	10		

Патентная защищенность разработки:

патент РФ от 10.09.2011 №108142 на полезную модель «Контрольная течь»

Бароаквариум для контроля герметичности ДСЕ РКТ с использованием в качестве индикаторной среды растворителей хладон 122, хладон 141b⁵

Установка (рис. 4) предназначена для проведения испытаний на герметичность методом бароаквариума узлов арматуры и автоматики, рулевых машин, поплавков, клапанов и т.п. изделий РКТ с использованием в качестве индикаторной среды растворителей хладон 141b, хладон 122.

Наличие аналогов

- в России: нет
- за рубежом: нет сведений

⁵ Информационный паспорт АО «НИИ «Гермес» №П201, 2016



Технические характеристики:

Основные сравнительные характеристики	Разрабатываемая продукция	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
Рабочий объем, м ³ :		аналогов нет	сведений об аналогах нет
– камеры рабочей	1,0		
– емкости вспомогательной	1,5		
– емкости накопительной	0,03		
габариты контролируемых изделий, мм, не более	500x500 x500		
достижимая чувствительность к обнаружению локальных течей, л·мкм рт.ст/с (м ³ ·Па/с)	5·10 ⁻⁵ (6,65·10 ⁻⁹)		
предельно-допустимое давление, подаваемое в изделие, МПа	52		
рабочий диапазон давления в камере рабочей, МПа	– 0,1...+0,06		
габаритные размеры, мм			
– рабочей камеры	1300x1300x1700		
– вспомогательного оборудования (накопительной и вспомогательной ёмкостей, блока рекуперации, блока подготовки воздуха, пульта управления)	2200x3000x2500		
уровень звуковой мощности, дБ, не более	80		
питание, ВХГц	380x50		
потребляемая мощность, кВт	5,5		
площадь размещения комплекта оборудования, м ²	10		

Патентная защищённость разработки:

патент РФ от 10.08.1998 №2117269 на изобретение «Бароаквариум».



Рис. 4. Опытный образец бароаквариума для контроля герметичности ДСЕ РКТ



УДК 620.163.29 (063.74)

*Кологов А.В., Соловьев В.Н., Тихомиров К.А., Барышников В.И.***Локальные методы контроля в масс-спектрометрическом течеискании**

В статье о современных методах контроля локальных утечек анализируется сложившаяся в промышленности ситуация, когда поставка комплектной принадлежности к течеискателю не позволяет использовать его в полной мере для контроля герметичности. Авторы рассматривают наиболее важные параметры течеискателя для локального контроля герметичности, а также положения, обеспечивающие повышение характеристик метода щупа при использовании современных течеискателей с цифровой обработкой информации. Особенный акцент делается на разумную комплектацию течеискателя соответствующим технологическим оснащением.

Ключевые слова: технология машиностроения, масс-спектрометрическое гелиевое течеискание, локальные методы контроля, метод щупа, метод накопления при атмосферном давлении, щупы-натекатели, насадки, комплектация, чувствительность, точность, производительность, надёжность.

Применение масс-спектрометрических гелиевых течеискателей позволило повысить гарантированную степень герметичности во всех конструкциях ракетно-космической техники (РКТ). Наибольший вклад в обеспечение герметичности приходится на испытания всего объекта в барокамерах методом общего вакуумирования. При этом фиксируемые утечки могут быть сравнимы с возможностями современных течеискателей, порог чувствительности которых достигает $5 \cdot 10^{-13}$ м³Па/с. Однако зафиксировать такую утечку на всем объекте и найти место течи далеко не одно и то же. Возможности локальных методов контроля как минимум должны соответствовать заданной суммарной степени герметичности, а еще лучше, быть на порядок более чувствительными.

Если в объекте испытаний есть элементы конструкции из резинотехнических изделий, плавленого кварца, углепластиков и других видов пластмасс, то результаты вакуумных испытаний могут показать довольно большое натекание гелия, обнаружить которое локальными методами невозможно. В этом случае контроль суммарной степени герметичности лучше производить аргоном и применять такие же течеискатели, но настроенные на аргон. Конечно, минимальная регистрируемая утечка будет выше, но ложных течей за счёт проницаемости конструкций гелием на вакуумных испытаниях не будет.

Немаловажной составляющей успешного контроля герметичности локальными методами является отсутствие загазованности помещения гелием сверх его нормального фона. Для этого в испытательном помещении запрещается открытое использование гелия (метод обдува), а сброс в атмосферу гелия из применяемого оборудования (дренаж) должен осуществляться выше крыши здания. При контроле герметичности локальными методами приточно-вы-

тяжную вентиляцию испытательного помещения следует отключать.

Единственным, полностью локальным методом контроля, является метод щупа. Присоединенный к течеискателю щуп приоткрывается для стабильного забора пробы с проверяемой поверхности. С помощью насадки на щуп место контролируемого участка локализуется, а гелий из воздуха и с проверяемой поверхности попадает в течеискатель. От потока воздуха, засасываемого в щуп, в камере масс-спектрометра создается стабильный фон гелия, повышение этого фона за счёт течи на проверяемой поверхности должен зафиксировать течеискатель. Таким образом, проверяются участки с доступной поверхностью: сварные швы, околошовная зона, криволинейные патрубки, фитинги, кронштейны, мембраны, участки целого материала и др.

Применение щупов с газовой (безгелиевой) завесой значительно повышает чувствительность испытаний, скорости поиска и возможности проверки больших площадей, но из-за сложности реализации этот способ не нашел применения в промышленности.

Большие площади материала необходимо контролировать методом накопления при атмосферном давлении (НАД). Точное место течи этим методом сразу не определить, но зону утечки – возможно, а затем все-таки, необходимо переходить к методу щупа. Метод НАД незаслуженно отодвинут во вспомогательные. При грамотном построении конструкций объемов накопления, его возможности обнаружения зоны течи доходят до $6,7 \cdot 10^{-10}$ м³Па/с, а определение величины локальной течи до $1,3 \cdot 10^{-10}$ м³Па/с. Метод НАД базируется не на эталонах потока, а на эталонах концентрации, поэтому точность вычисления атмосферных течей этим способом может достигать



$\pm 5\%$. Чрезвычайно важно, чтобы отбор пробы был достаточно мал и не влиял на сохранность концентрации гелия в объёме накопления. Потенциально минимальная регистрируемая утечка методом НАД даже меньше, чем методом щупа.

Методом НАД удобно контролировать герметичность сложных участков поверхности объекта или когда доступ к некоторым участкам проверяемой поверхности ограничен. Например, при наложении объёма накопления на сварной шов, точки отбора пробы могут располагаться с шагом 250-300 мм. Это единственный способ контроля конструктивных полостей, обращённых к герметичным ёмкостям. Контроль герметичности методом накопления при атмосферном давлении стал применяться и для определения суммарной степени герметичности объектов в целом. При этом, после определения суммарной степени, весьма удобно переходить к контролю отдельных зон или мест течей, не сбрасывая давление гелиево-воздушной смеси из объекта испытаний. При локализации мест утечки на сложных конструкциях, зафиксированных при вакуумном контроле, НАД является единственным методом, с помощью которого можно определить направление течи.

Метод вакуумных присосок тоже можно рассматривать как метод локального поиска. Это хорошо видно при контроле сварных швов, когда поочередное смещение присоски по проверяемому шву, позволяет точно определить зону течи. Метод вакуумных присосок имеет весьма высокую чувствительность, недостижимую для методов щупа и НАД. Однако следует учесть, что на объекте испытаний заполненном гелиево-воздушной смесью до рабочего давления, перепад давлений под присоской получается на 1 кг/см^2 больше. Если это допустимо, то за счёт большего перепада давления над течью результирующий поток значительно увеличивается. При серийном выпуске однотипных агрегатов появляются зоны статистически наиболее вероятного расположения течей. В этом случае локальный поиск следует начинать именно с метода присосок.

На старых течеискателях забор воздуха ограничивался допустимым давлением в камере масс-спектрометра и возможностями пароструйного насоса, что для методов щупа и НАД составляло $2,6 \text{ std мм}^3/\text{с}$. При этом количество гелия, поступающего из воздуха, равно $1,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \text{Па/с}$. Такой фон позволяет измерять повышение воздушной концентрации гелия в объёме накопления на величину 0,05 ppm или индцировать течь порядка $2,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 \text{Па/с}$. При длительных перерывах между ка-

либровками по эталонным концентрациям допускается применение следящей компенсации, автоматически отслеживающей уровень фона, но при этом предельно достижимая чувствительность по концентрации может быть несколько хуже.

При полной передаче гелия от течи в откалиброванный течеискатель, реальная погрешность определения величины течи методом щупа на объекте в статике не превышает $\pm 10\%$ относительно точности контрольной течи. Реальный сигнал по течи на скорости значительно меньше по величине и отстает по времени. Для этого тревожный порог поиска настраивается примерно на порядок ниже. Получив превышение тревожного порога, оператор снижает скорость поиска, возвращается к подозрительному участку и по максимуму показаний определяет точное место течи. Чем больше забор воздуха через щуп, тем выше возможная скорость «ощупывания» и тем выше (хуже) порог чувствительности, за счёт повышения рабочего фона гелия и большого разбавления потока от течи засасываемым воздухом. Такие представления о методах щупа и НАД в аэрокосмической промышленности присутствуют последние 50 лет.

Современные течеискатели позволяют отбирать с поверхности изделия в $20 \div 30$ раз больший поток, но при таком режиме фоновый поток гелия из воздуха также увеличивается, а минимальный регистрируемый поток резко повышается. Российские разработчики течеискателей, копирующие зарубежные приборы, российское определение – метод щупа «локализация щупом» в прямотоке подменили иностранным понятием «шниффер» – «обнюхивание» в противотоке. При «шниффере» подразумевается только некоторое приближение щупа к месту течи, а в испытаниях методом традиционного щупа безразрывность движения щупа по проверяемой поверхности является определяющим фактором.

Для получения хорошей чувствительности и гарантированной точности измерений необходимо уделить особое внимание насадкам на щуп, обеспечивающим полный забор пробы без рассеивания с поверхности объекта испытаний. Таким условиям соответствуют только эластичные полимерные (силиконовые, полиуретановые и др.) конструкции. Применение резиновых насадок, которыми снабжаются все отечественные течеискатели, тем более из резины марки 7889, не соответствует требованиям к технологии испытаний. Насадки подворачиваются либо присасываются, но не прилегают к контролируемой поверхности.

Современные течеискатели как отечественного, так и иностранного производства комплектуются щупами, пред-



назначенными для работы исключительно методом шниффера. Да и сами такие течеискатели часто пренебрежительно называют «шнифферами». Небольшое исключение составляет фирма Пфайфер Вакуум, которая предлагает другие варианты забора пробы, в том числе и за счёт селекции гелия.

В итоге: сегодня разработчик течеискателя видит метод шниффера, называемый им методом щупа, следующим образом:

- течеискатель предлагается использовать в режиме противотока, что снижает минимальный регистрируемый поток примерно в $50 \div 70$ раз;
- для сохранения приемлемого времени отклика, необоснованное увеличение длины шланга компенсируется увеличением величины отбираемой пробы;
- в комплект поставки входят щупы с забором воздуха порядка $200 \div 300$ std мм³/с, что значительно разбавляет поток гелия, забираемый от течи, повышает фон гелия, а минимально регистрируемый поток снижается ещё более чем в 50 раз;
- комплектные насадки, поставляемые с отечественными течеискателями, не позволяют производить плавное движение по поверхности, а способны локализовать утечку только в статике;
- пластиковые шланги большой длины за счёт проницаемости гелия через их материал создают дополнительный неконтролируемый фон гелия и повышают задержку сигнала от течи;
- щупы, шланги, насадки атмосферные контрольные течи, приемлемые для классических методов щупа и НАД, не выпускаются ни отечественными, ни зарубежными производителями.

Предприятия закупают комплектно течеискатели с такими щупами, шлангами и насадками, а потом, в целях достижения высокочувствительного поиска локальных течей, вынуждены заменять эту комплектацию на более приемлемую.

О том, что поиск должен быть высокочувствительным свидетельствует простое соображение. Если у вас задана суммарная степень герметичности Q_{Σ} , то порог чувствительности локального поиска Q_1 должен быть как минимум на порядок меньше: $Q_1 \leq 0,1 Q_{\Sigma}$.

Необходимо разделить понятия высокочувствительного метода щупа, работающего в прямотоке (с коротким металлическим шлангом, небольшим забором воздуха, локализирующей насадкой, малым фоном гелия), и метод шниффера, работающего в противотоке (с низкой чувствительностью, очень большим забором воздуха, пластико-

выми шлангами избыточной длины).

Полагаем, что высокочувствительный метод щупа в прямотоке с забором воздуха $2,6 \div 26$ std мм³/с, можно называть методом малопоточного щупа, что на современных приборах обеспечивает локализацию течей $10^{-10} \div 10^{-7}$ м³Па/с. Метод шниффера в противотоке с забором воздуха от 100 до 300 std мм³/с, можно называть методом «многопоточного щупа», что на современных приборах иногда позволяет находить течи $10^{-8} \div 10^{-5}$ м³Па/с.

Это должно найти соответствующее отражение в руководствах по эксплуатации течеискателей и отраслевой технологической документации.

Ни высокочувствительным методом малопоточного щупа, ни методом накопления при атмосферном давлении на современных течеискателях с существующей комплектацией работать нельзя.

Разумный компромисс состоит в том, чтобы максимально использовать более высокие приборные параметры современного течеискателя, но не ставить пользователя в необоснованное затруднение. Главное не упустить открывшихся возможностей повышения чувствительности и производительности локальных методов контроля, поставив разумные ограничения в выборе параметров.

1. Необходимо комплектовать течеискатель для работы методом щупа и НАД регулируемым щупом с диапазоном забора воздуха $2,6 \div 26$ std мм³/с.

В методе НАД:

- повысить забор воздуха через щуп до 5,2 std.мм³/с, что, при фоне гелия в 5 ppm соответствует его потоку $2,6 \cdot 10^{-9}$ м³Па/с;
- в соответствии с характеристиками зарубежных приборов необходимо и отечественными течеискателями гарантированно регистрировать изменение фоновой концентрации гелия на величину менее 1%, что соответствует приборной чувствительности к потоку гелия $2,6 \cdot 10^{-11}$ м³Па/с;
- разработчики отечественных приборов должны ввести в руководство по эксплуатации следующие определения:
 - а) как изменяется порог чувствительности при изменении входного потока в течеискатель;
 - б) на какой минимально регистрируемый поток следует рассчитывать при наличии определенного стабильного фона гелия;
 - в) какие отклонения от обязательной линейности характеристик: поток/показания и концентрация/показания следует иметь в виду, и в каких случаях.



Однако такие параметры пока не вносятся в документацию на течеискатель.

В методе малопоточного щупа, осуществляемом в прямотоке:

- минимальный забор воздуха можно устанавливать от $2,6 \text{ std мм}^3/\text{с}$, при этом минимально регистрируемый поток на малой скорости $1 \div 2 \text{ мм/с}$ будет составлять порядка $1,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Па/с}$;
- увеличение забора воздуха до $26 \text{ std.мм}^3/\text{с}$ позволит на скорости $4 \div 5 \text{ мм/с}$ иметь минимально регистрируемый поток порядка $1,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{Па/с}$, что бывает достаточно в ряде случаев;
- при контроле фланцевых и ниппельных соединений максимальный забор пробы можно увеличить до $53 \text{ std мм}^3/\text{с}$, что позволяет на скорости $5 \div 6 \text{ мм/с}$ в прямотоке иметь минимальный регистрируемый поток гелия порядка $6,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{Па/с}$.

В методе полнопоточного щупа (шниффер), называемом в руководствах отечественных течеискателей «методом щупа», когда в противотоке нерегулируемый забор воздуха в течеискатель составляет $200 \div 300 \text{ std мм}^3/\text{с}$, согласно руководству по эксплуатации течеискателя, определение величины течи не гарантируется. **Определяется только порядок течи.**

Не меньшее значение в поставляемом с течеискателем комплекте оснастки имеют и насадки для метода щупа. Насадки должны быть выполнены из эластичных материалов, охватывать наибольшую проверяемую площадь при минимальном внутреннем объеме, хорошо скользить по изделию, не задирается и не присасывается. В конструкциях насадок есть большое поле деятельности, которое ждет своих первооткрывателей. При работе методом щупа, применение следящей и динамической компенсации должно быть исключено, допускается только обычная статическая компенсация, не отслеживающая изменение уровня фона.

Немаловажную роль здесь отводится и контрольным течам, рабочая поверхность которых должна быть эквидистантна проверяемой. Однако теперь роль атмосферных контрольных течей, применявшихся для калибровки способа щупа, значительно уменьшается, так как определение величины найденной утечки идет путем использования калибровки течеискателя по точной внутренней контрольной течи. Внешняя атмосферная контрольная течь необходима только для определения условий поиска и скорости перемещения щупа.

Необходимо, чтобы течеискатель, используемый в ракетно-космической промышленности, поставлялся

со всем необходимым оснащением, применяемым по отраслевым технологиям:

- щупы-накататели с регулируемым забором и металлическими шлангами длиной $1,2 \div 2,5 \text{ м}$;
- щупы-зонды с фиксированным забором для работы по методу НАД;
- насадки с быстроразъемным соединением для проверки различных типов поверхностей;
- специальные насадки для контроля ниппельных и фланцевых соединений;
- насадки с иглами Льюера для применения в методе НАД;
- атмосферные контрольные течи на диапазон $10^{-11} \div 10^{-7} \text{ м}^3/\text{Па/с}$ для имитации утечек, при работе методами щупа и НАД;
- вакуумные контрольные течи повышенной точности на диапазоны: $10^{-7} \div 10^{-6} \text{ м}^3/\text{Па/с}$ и $10^{-11} \div 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Па/с}$;
- типовые вакуумные присоски для контроля криволинейных сварных швов, сфер и плоских поверхностей;
- специальную оснастку для составления и хранения эталонных концентраций гелия;
- типичные конструкции объемов накопления на трубопроводы, сварные швы, плоские и слабо криволинейные поверхности;
- другое оснащение, применяемое при контроле герметичности локальными методами.

Кроме того, необходимо предусмотреть опционную поставку комплектации для ведомственной аттестации течеискателей по нормативам ракетно-космической промышленности. Тогда течеискатели и локальные методы контроля герметичности можно рассматривать научно-обоснованно в широком диапазоне комбинаций чувствительность-производительность.

Если у вас есть регулируемый в широком диапазоне щуп-накататель, то на современных приборах режим локального поиска вы можете выбрать, исходя из собственных задач. Насадка на щуп, имеющая свой свободный объем V по отношению к общему потоку $Q_{\text{общ}}$ является интегрирующей ячейкой. Чем больше объем насадки и меньше забор воздуха, тем больше постоянная времени и запаздывание сигнала. Чем больше постоянная времени, больше скорость поиска и меньше время экспозиции течи под насадкой, тем меньше сигнал от течи. Поэтому тревожный сигнал течеискателя (поиск) настраивается на значительно меньший уровень, чем уровень локализации течи (измерения). Считается, что приемлемое соотношение тревожного уровня сигнала к максимальному может составлять до 10 крат, т.е. тревожный сигнал течеискателя



настраивается по величине на порядок меньший, чем искомая течь. Тогда соотношение объема насадки к забору воздуха через шуп можно принять как:

$$V \approx Q_{\text{общ}} / 20 \text{ с}, \quad (1)$$

где V – свободный объем насадки, см³;

$Q_{\text{общ}}$ – поток воздуха забираемый через шуп, std.мм³/с;

20 с – коэффициент от постоянной времени, учитывающий соотношение размерностей, с.

Скорость поиска подбирается таким образом, чтобы уверенно фиксировать по имитатору проверяемой поверхности течь заданной величины.

Обобщенно, следует считать, что возможность поиска минимальной утечки гелия методом шупа в прямом потоке на выбранной скорости можно представить в виде следующего соотношения:

$$Q_{\text{min}} = 3 \cdot 10^{-10} Q_{\text{общ}}, \quad (2)$$

где Q_{min} – расчётный минимально регистрируемый поток гелия, м³Па/с;

$Q_{\text{общ}}$ – поток воздуха забираемый через шуп, std.мм³/с.

Конструкция и коэффициент трения насадки о проверяемую поверхность должны обеспечивать её безразрывное движение по изделию. Это соответствует указанным выше характеристикам метода, позволяющим находить и измерять утечки, соответствующие заданной степени герметичности изделий.

В методе НАД динамические характеристики отбора пробы не имеют большого значения. Определяющим является минимально возможный забор пробы, обеспечивающий минимальный фон и стабильность работы вакуумной системы, без существенного дрейфа и флюктуаций, позволяющие фиксировать очень малые изменения фона за большой промежуток времени. Фактически, каждый течеискатель имеет некоторую собственную зависимость минимального уровня фиксируемого изменения концентрации от входного потока, что должно быть записано в документации, и легко определяться на течеискателе в процессе выбора параметров течеискания при реализации метода НАД.

Разумная комплектация и гарантии метрологических свойств течеискателей в анонсированном диапазоне входных потоков позволяют перевести эти характеристики в отраслевые стандарты и поднять возможности контроля не только суммарной степени герметичности, но и возможности всех методов локального поиска.

Применение качественной комплектной оснастки к дорогому современному течеискателю позволяет использовать затрачиваемые средства более эффективно, обеспечив необходимый современный технологический уровень течеискания.

УДК 620.163.29 (063.74)

Кологов А.В., Соловьев В.Н., Тихомиров К.А., Барышников В.И.

Перспектива метрологии современного гелиевого течеискания

Со времён не калибруемых по внутренним контрольным течениям течеискателей ПТИ-4 и ПТИ-6 в технологическом процессе течеискания широко использовались контрольные течи отраслевого производства, калибруемые либо наложением в вакуум, либо пузырьковым методом, либо методом накопления. Контрольные течи разнообразных конструкций изготавливались на широкий диапазон утечек, а необходимый поток гелия определялся его процентным содержанием в смеси или давлением. Этим занимались метрологические службы предприятий, которые отвечали перед заказчиком за состояние рабочих эталонов и течеискателей.

Несмотря на то, что старые течеискатели выпускались как индикаторные приборы, они изготавливались по приборному ГОСТ и претензий к их характеристикам, включая линейность отсчётов, не было. Начиная с ПТИ-10, ссылаясь на то, что прибор индикаторный, приборный стандарт

на изготовление течеискателей был снят. Это открыло дорогу к ухудшению характеристик течеискателей и метрологии течеискания. Тем не менее, благодаря стабильности сложившихся технологий контроля герметичности, воспроизводимость результатов испытаний оставалась довольно высокой. С применением поверяемых контрольных течей типа Гелит появилась возможность соотносить с ними все отраслевые контрольные течи, а также течи, обнаруживаемые на объектах испытаний.

Характеристики отраслевых контрольных течей, изготавливаемых в ракетно-космической промышленности (РКП) в настоящее время, регулируются стандартом, в котором указаны типы течей, методы калибровки и соответствующие достижимые точности по потоку гелия. В среднем погрешность калибровки не превышает ±30%.



В эпоху постперестроечного застоя течеискатели практически не закупались, а работы велись на устаревшем оборудовании. Имевшиеся попытки модернизации приборов сталкивались с отсутствием оплачиваемого спроса. Только с появлением современных копий иностранных приборов, с турбомолекулярными насосами и цифровой обработкой информации, наметилась тенденция обновления парка течеискателей и появились мотивы улучшения метрологии. Этому послужила серьёзная конкуренция с иностранными компаниями, наводнившими наш рынок. Но, иностранные компании, производя отличные приборы, не имеют многолетнего опыта выпуска серьёзной ракетно-космической продукции, с использованием российских приборов.

В результате «перестройки» появились потери возможностей предприятий в изготовлении технологического оснащения для реализации методов контроля герметичности. Сократилось число предприятий, изготавливающих по кооперации специальную оснастку: «тройники», щупы, насадки, вакуумные шланги, присоски, контрольные течи, устройства для составления и хранения эталонных концентраций, рабочие эталоны большого диапазона потоков и концентраций, и прочего оснащения для собственных нужд. В настоящее время предприятия предпочитают всё необходимое закупать. Но, кто станет выпускать необходимое оснащение, кто грамотно сформулирует заказ от промышленности? У иностранных компаний таких забот нет.

Началась погоня, кто лучше скопирует течеискатель известной зарубежной фирмы, а на пожелания отечественных потребителей течеискателей, никто не думает обращать внимание. Появились полностью противоточные Шниффера, автоматизированные разбраковщики, газовые трассоискатели, турбонасосы с ничтожным отбором пробы, бесполезные щупы со шлангами до 50 метров, неудачные резиновые насадки и многое другое, весьма далекое от обеспечения задач изготовления ракетно-космической техники (РКТ) и других машиностроительных отраслей. Скопирована и калибровка течеискателей по внутренней контрольной течи, не соответствующая российскому стандарту. При этом течеискатели по-прежнему назывались индикаторными. Но, если прибор производит отсчёт в каких-либо стандартных единицах потока, например, $\text{м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$ или л. мкм рт.ст./с, то он уже не может называться индикаторным, иначе нужно указывать только условные единицы измерений (например, мВ).

Теперь предлагаются аттестованные в ГЦИ СИ ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева «измерительные» течеискатели со шкалой сравнения, которые, кстати, выпуска-

ются по тем же техническим условиям, что и индикаторные, например, ТИ1-50 и ТИ1-50И по ТУ 4215-023-07517692-2010. Выпуск поверяемых течеискателей не решает проблемы их применения, так как сомнительные метрологические характеристики данных приборов гарантируются только при работе на заглушку, без подключения какой-либо оснастки или объектов испытаний. Заказчик уверен, что на его производстве применяются течеискатели, занесённые в реестр измерительных приборов, но не имеет понятия, что, с точки зрения контроля герметичности объектов РКТ, статус теперешнего, измерительного течеискателя не соответствует действительности.

В руководствах к отечественным течеискателям отмечается, что они поддерживают методы испытаний по ГОСТ 28517-90 «Масс-спектрометрический метод течеискания. Общие требования», но в эксплуатационной документации практически не отражены должным образом все восемь методов течеискания, предусмотренные данным стандартом и, тем более, их метрология. Также для реализации таких методов отсутствует и должный комплект оснастки.

Вместе с тем, погрешность определения течей, измеряемых поверенными течеискателями, в области малых потоков допускает узаконенные отклонения на уровне $\pm 130\div 170\%$, что абсолютно неприемлемо. В дополнение к этому, газовая нагрузка на течеискатель, отбираемая в технологическом процессе пробы, может в корне изменить представление о приборе, занесённом в реестр средств измерения. Например, поверяемый течеискатель ТИ1-50И, при изменении общего входного потока в отбираемой пробе в допустимых по паспорту пределах, может представлять измеренный поток гелия с дополнительной погрешностью в 300%.

Промышленность становится заложником разработчиков течеискателей, не получая необходимого понимания. Приходится гадать, когда новейшие отечественные течеискатели, занесённые в реестр средств измерений, смогут соответствовать хотя бы отраслевым российским стандартам течеискания? Или необходимо ориентироваться на зарубежные приборы, применение которых в РКП – занятие весьма сомнительное?

Общую ситуацию с применением поверяемых течеискателей в настоящее время можно охарактеризовать так:

- исторически апробированный метод малопоточного щупа не поддерживается течеискателями и их комплектацией;
- по методу полнопоточного щупа (Шниффер) имеются указания, что им определяется только порядок течи;
- о методе накопления при атмосферном давлении разработчики течеискателей не имеют достаточного представления;



- не поддерживается необходимый забор пробы и измерения концентрации эталонных смесей гелия;
- абсолютно не ясно, чем руководствоваться, применяя методы присосок, разъемы вакуумных камер (РВК) и иных местных камер, в течеискании;
- упомянут метод обдува без указаний на какую-либо метрологию;
- по применению метода вакуумирования на малых, средних и крупных вакуумных камерах нет никаких метрологически обоснованных положений;
- реальная погрешность измерения течей на объекте испытаний современными течеискателями составляет $\pm 60\%$, что довольно много.

Авторы данной статьи считают, что метрологию основных методов контроля герметичности, вопреки указаниям, приведённым в разных руководствах, необходимо рассматривать следующим образом.

Для метода малопоточного щупа, когда весь поток от течи забирается щупом, калибровка течеискателя по внутренней контрольной течи должна быть основным метрологическим ориентиром, а атмосферные контрольные течи с имитаторами проверяемой поверхности должны обеспечивать только заданную точность локального поиска.

Для метода накопления при атмосферном давлении (НАД) необходимо реализовать измерение течеискателем воздушных концентраций гелия в миллионных объёмных долях (ppm). Но, в государственных стандартах эталонов концентрации нет промежуточных величин, кроме 0% и 100%. До введения в обращение государственных эталонов промежуточных концентраций гелия в смеси, ответственность за изготовление рабочих эталонов малых контрольных смесей гелия и расчёт обнаруженной утечки остается за испытателем. Следует обратить особое внимание на стабильную концентрацию гелия в воздухе (5 ppm), которую в промышленности используют уже более 50 лет.

Для всех методов местного вакуумирования (присоски, разъемные вакуумные камеры) уместно сравнение потока с внутренней контрольной течью при обязательном контроле течеискателем процесса вакуумирования и прохождения сигнала. Здесь надо различать, когда вакуумирование участка производится на объекте, заполненном гелиево-воздушной смесью и мерой отсчёта степени герметичности служит получаемый фон гелия в системе. Когда подача пробного газа в изделие производится после выхода на режим измерительного тракта и течеискателя, отсчётом степени герметичности служит прибавка к фону гелия, принятого за нулевой. В этом случае реальный порог чувствительности значительно ниже.

Для метода вакуумирования с применением малых вакуумных камер, когда весь поток также направляется в течеискатель, необходимо использовать калибровку по внутренней контрольной течи, а время прохождения сигнала по вакуумному тракту может определяться с помощью внешней некалиброванной гелиевой течи.

Для метода вакуумирования с применением больших вакуумных камер целесообразно метрологически поддерживать только тракт измерения с разделением потоков по высокому вакууму. Забор пробы, осуществляемый из низковакуумного коллектора, значительно осложняет обеспечение высокой чувствительности и получение стабильного результата. Применение внешних калиброванных контрольных течей, включённых на всю камеру, необходимо осуществлять по ГОСТ Р 53177-2008 «Определение характеристик масс-спектрометрического метода контроля герметичности». Для поддержания стабильности режима в измерительном тракте могут использоваться азотные натекатели.

Вакуумная камера, предназначенная для контроля герметичности, должна изначально проектироваться с учётом нюансов именно этого режима. Совмещение контроля герметичности с другими технологическими процессами, неизбежно приведет к потерям в достижении возможно более низкого порога чувствительности.

Для получения приемлемых метрологических характеристик течеискания в РКТ, каждый течеискатель в диапазоне разрешённых входных давлений, указанных в руководстве, должен обеспечивать:

а) гарантированную линейность калибровки по внутренней контрольной течи в диапазоне потоков гелия $1 \cdot 10^{-11} \div 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \text{Па/с}$, с дополнительной погрешностью не более $\pm 5\%$;

б) стабильность первоначальной калибровки при изменении общего входного потока в диапазоне $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 \text{Па/с}$, с дополнительной погрешностью не более $\pm 10\%$.

Получение заданных метрологических характеристик, как правило, обеспечивается многими современными течеискателями, но не гарантируется их технической документацией.

Как подтверждение этому, можно привести фразу из письма завода «Измеритель» на запрос по линейности отсчётов течеискателя ТИ1-50И: «Запрашиваемые сведения не приводятся ни одним из имеющихся на рынке течеискания квалифицированных разработчиков/поставщиков масс-спектрометрического оборудования не только в технических, но и в рекламных материалах».

Много вопросов к разработчикам связано с отсутствием предварительной откачки полости контрольной течи «Гелит» при определении метрологических характеристик вакуумных методов контроля. Национальный стандарт ГОСТ Р 53177-2008 прямо указывает на необходимость предварительной откачки выхода контрольной течи непосредственно перед подключением к любой вакуумной системе или к течеискателю.

Калибровка измерительного тракта: вакуумная камера – течеискатель без постоянной предварительной откачки контрольной течи категорически запрещена.

По мнению специалистов РКТ по течеисканию, перевод внутренних контрольных течей течеискателей с «Гелит-1» ($\sim 1 \cdot 10^{-4}$ л мкм рт.ст./с), комплектуемых в настоящее время, на «Гелит-2» ($\sim 1 \cdot 10^{-5}$ л мкм рт.ст./с) позволит немного смягчить это несоответствие, тем более, что «Гелит-2» попадает в середину интересующего испытателей диапазона потоков. Так как определение чувствительности течеискателя базируется на сравнении с поверяемым эталоном потока гелия, крайне важно довести калибровку контрольных течей как типа «Гелит», так и любых других рабочих эталонов потока до уровня погрешностей, не превышающих $\pm 10\%$. РКП может предложить точность калибровки течей типа «Гелит» на уровне менее $\pm 10\%$ и самостоятельно выпускать контрольные течи (например, «Гелийном 3÷7») с ведомственной поверкой в широком диапазоне потоков и погрешностью калибровки не более $\pm 10\%$.

В сущности, хорошая метрология методов контроля герметичности сводится к обеспечению всего нескольких положений:

- отсчёт течеискателя по потоку или концентрации линеен в составе любого метода контроля герметичности с максимальным отклонением не более $\pm 10\%$;
- обеспечение 100% передачи забираемой пробы в откалиброванный течеискатель;
- контроль времени прохождения сигнала по измерительному тракту производится до начала испытания и в конце;
- отделение забираемой пробы от общего газовыделения в крупных барокамерах производится по высокому вакууму;
- рабочие эталоны потока гелия должны иметь погрешность изготовления не более $\pm 10\%$;

– рабочие эталоны концентрации гелия должны иметь погрешность изготовления не более $\pm 5\%$.

В условиях, сложившихся в РКП, целесообразно осуществлять ежегодную ведомственную аттестацию всех течеискателей на соответствие требованиям отраслевых стандартов на испытания, приводящую технические характеристики течеискателей к реальным режимам технологического процесса испытаний. Поверку течеискателей необходимо производить с учётом всех методов контроля герметичности по выбранным стандартам с соответствующей газовой нагрузкой, имитирующей технологический процесс течеискания.

Целесообразно (совместно с ФГУП ВНИИМ им.Д.И. Менделеева) проработать порядок государственной аттестации ведомственных методик и технических средств по контролю вторичных (рабочих) эталонов потока гелия и эталонных концентраций гелия, которые сейчас проводятся силами отраслевых лабораторий, в соответствии с возможностями вновь разрабатываемых течеискателей.

Определённая метрологическая поддержка испытаний в документации течеискателя и техническая поддержка поставляемой комплектацией, позволят метрологически корректно обеспечивать все методы контроля герметичности по ГОСТ 28517-90. Применение ведомственной аттестации течеискателей, выпуск соответствующего технологического оснащения и контрольных течей высокой точности поддерживает все метрологически необходимые операции, что повышает информированность и ответственность операторов, а также снижает погрешности определения величин течей на изделиях до уровня $\pm 20\%$.

Чётко разработанная отраслевая технологическая документация, гарантированная заявленными параметрами течеискателей и контрольных течей, позволяет резко уменьшить влияние непреднамеренных и системных ошибок в течеискании, что, в свою очередь, снижает угрозу обнаружения брака на собранном изделии или при его эксплуатации. Такое решение задач гелиевого масс-спектрометрического течеискания позволяет говорить о возрождении импортопережени существующего зарубежного уровня российской технологической наукой.

УДК 629.783

Антонова С.С., Макаров И.И., Кочкин Е.В.

Тарирование автоматизированного высокоточного балансировочного оборудования стенов типа «ЦМ»

Тарирование осуществляется как в процессе сборки изделия, так и в процессе первичной заводской аттестации перед отправкой заказчику и заключается в выведении центра масс (ЦМ) стола с платформой на ось наклона.

Примерами стенов типа «ЦМ» являются:

- автоматизированный стенд для измерения массы и координат ЦМ космических аппаратов ЦМ-300 приведённый на рис. 1;
- автоматизированный стенд для измерения массы и координат ЦМ космических аппаратов МЦМ-1000 и автоматизированное рабочее место оператора (рис. 2).

Первый этап тарирования стенов заключается в выведении ЦМ платформы в положение близкое к оси наклона стенов с помощью установки балансировочных грузов. При этом ЦМ стола с платформой изменяет положение относительно оси наклона при проведении измерений. Из-за нарушения балансировки стола возникает необходимость скорректировать показания датчика силы с учётом остаточного дисбаланса. На рис. 3, 4 показана расчётная схема стенов типа «ЦМ» и выведение ЦМ стола с платформой на ось наклона, на примере стенов измерения массы и координат центра масс ЦМ-3000.

Задачей второго этапа тарирования является определение функциональной зависимости между углом отклонения платформы и усилием, прикладываемым к ней в точке А. Необходимо провести исследование теоретической зависимости между углом отклонения платформы и силой реакции опорного ролика и выполнить проверку

данной зависимости на основании экспериментальных данных.

Теоретический анализ представляет собой моделирование стенов типа «ЦМ» с параметрами:

- масса платформы $M=100$ кг;
- ускорение свободного падения $g=9.8$ кг/м²·с²;
- координаты точки А ($X_A=0.1$ м; $Y_A=0.5$ м);
- координаты точки С ($X_C=0.007$ мм; $Y_C=0.003$ мм).



Рис.2. Общий вид стенов МЦМ-1000



Рис.1. Общий вид стенов ЦМ-300

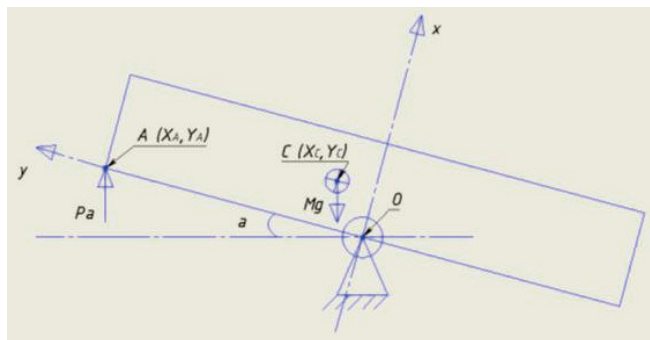


Рис.3. Расчётная схема стенов типа «ЦМ»:

ХОУ – система координат: ось ОУ параллельна плоскости планшайбы, ось ОХ перпендикулярна оси ОУ; О – точка проекции оси наклона; А – точка контакта опорного ролика; (X_A , Y_A) – координаты точки А в системе координат ХОУ; С – ЦМ платформы; (X_C , Y_C) – координаты точки С в системе координат ХОУ; α – угол отклонения платформы; $P(\alpha)$ – усилие, прикладываемое к платформе в опорной точке А; М – масса платформы; g – ускорение свободного падения

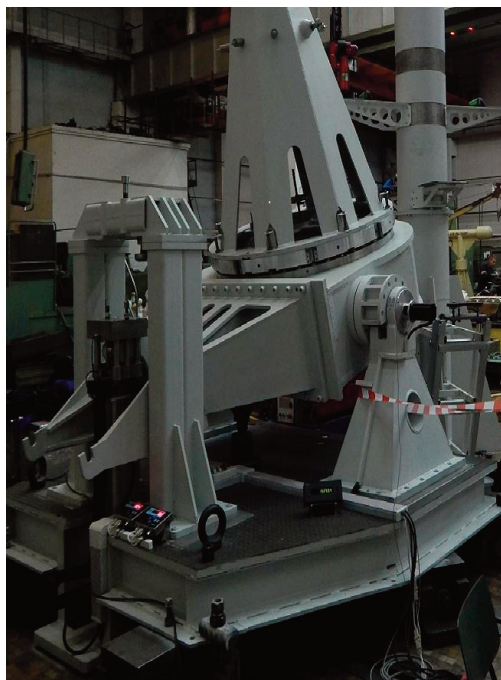


Рис. 4. Выведение центра масс стола станда ЦМ-3000 на ось наклона

Для теоретической проверки зависимости используют условие статического равновесия, заключающееся в равенстве нулю суммы моментов относительно точки О (рис. 3).

Зависимость рассчитывают на ПК в среде пакета Mathcad и представляют графически (рис. 5).

Выполним линейную аппроксимацию с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Полученная прямая представлена на рис. 6.

Проведём расчёт остаточных невязок системы условных уравнений v_i (рис.7).

	0		0		0
0	560.986	0	562.089	0	1.104
1	535.836	1	536.343	1	0.507
2	510.685	2	510.743	2	0.058
3	485.535	3	485.274	3	-0.262
4	460.385	4	459.918	4	-0.467
5	435.235	5	434.66	5	-0.575
6	410.085	6	409.484	6	-0.601
7	384.934	7	384.374	7	-0.561
8	359.784	8	359.315	8	-0.47
9	334.634	9	334.29	9	-0.344
10	309.484	10	309.286	10	-0.197
11	284.334	11	284.287	11	-0.047
12	259.183	12	259.277	12	0.094
13	234.033	13	234.241	13	0.208
14	208.883	14	209.165	14	0.282
15	183.733	15	184.031	15	0.298
16	158.583	16	158.826	16	0.243
17	133.432	17	133.533	17	0.1
18	108.282	18	108.136	18	-0.147
19	83.132	19	82.619	19	-0.513

Рис.7. Расчёт остаточных невязок системы условных уравнений v_i (экранная форма)

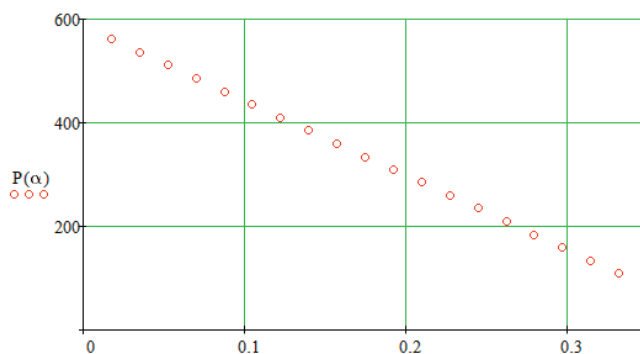


Рис.5. График зависимости силы реакции $P(\alpha)$ от угла отклонения платформы от горизонта (α) (экранная форма)

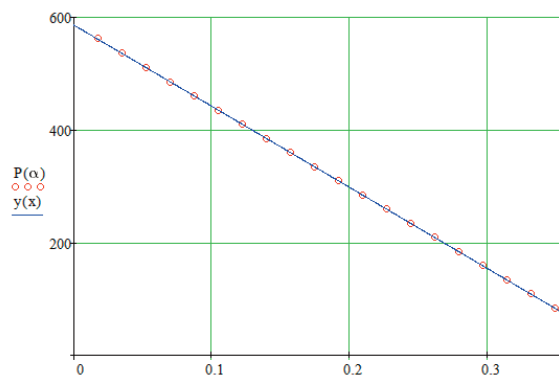


Рис.6. Линейная аппроксимация графика зависимости силы реакции $P(\alpha)$ от угла отклонения платформы от горизонта (α) (экранная форма)

Исследование теоретической зависимости показало, что остаточные невязки системы условных уравнений не превышают 1 г, что существенно меньше инструментальной погрешности датчика, то есть ей можно пренебречь и принять модель линейной функциональной зависимости усилия $P(\alpha)$ от угла отклонения платформы от горизонта (α).

Анализ экспериментальных данных.

Эксперимент проведён на стенде МЦМ-6000 (рис.8).

Для экспериментальной проверки выполнены четыре измерения усилий на опорном ролике в зависимости от угла наклона платформы для четырёх положений планшайбы. Средством измерения силы является тензометрический датчик силы Т-24А (ООО «ТД «Тензо-М»») с пределом погрешности $\Delta P_a = 5$ г. Средство измерения для угла наклона – инкрементарный энкодер ЛИР – 1170А (ОАО «СКБ ИС») с пределом погрешности $\Delta \alpha = 5''$. Диапазон варьирования угла отклонения от 0 до + 20 градусов. Четыре выборки значений величин сил и углов отклонения показаны в табл. 1.

Таблица 1. Выборка значений величин сил $P(\alpha)$ и углов отклонения α

Первая выборка		Вторая выборка		Третья выборка		Четвертая выборка	
$\alpha, ^\circ$	$P(\alpha), \text{г}$	$\alpha, ^\circ$	$P(\alpha), \text{г}$	$\alpha, ^\circ$	$P(\alpha), \text{г}$	$\alpha, ^\circ$	$P(\alpha), \text{г}$
3,98526	1000	3,98834	989	3,99101	990	3,98672	990
4,98633	960	4,98915	950	4,99072	970	4,98797	960
5,98459	890	5,98821	900	5,98929	920	5,98785	910
6,98751	860	6,98815	850	6,98943	870	6,98694	860
7,98662	820	7,9886	830	7,9913	849	7,98713	830
8,98645	770	8,98906	780	8,99007	771	8,98897	770
9,98786	720	9,98891	720	9,99001	749	9,98932	720
10,9866	690	10,9887	690	10,9905	710	10,9897	700
11,9863	650	11,9889	640	11,9896	670	11,989	640
12,9883	610	12,9886	600	12,9882	620	12,9884	610
13,9882	560	13,9891	550	13,9886	560	13,9877	553
14,9868	510	14,989	510	14,9887	530	14,9893	510
15,9864	480	15,9883	470	15,9898	486	15,9868	470
16,987	420	16,9875	430	16,9905	440	16,9889	440
17,9856	370	17,9909	380	17,9906	390	17,988	390

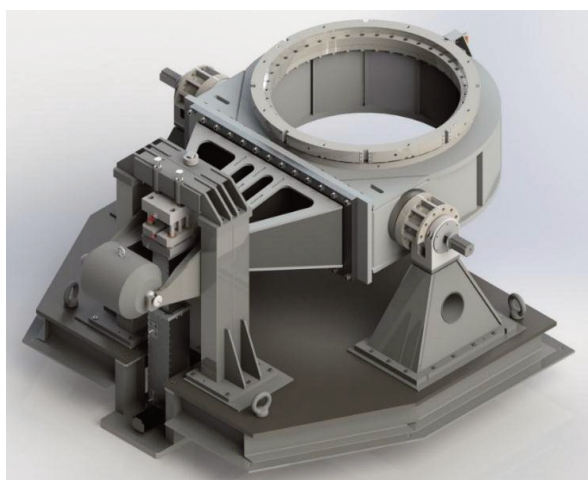


Рис.8. Общий вид станда МЦМ-6000

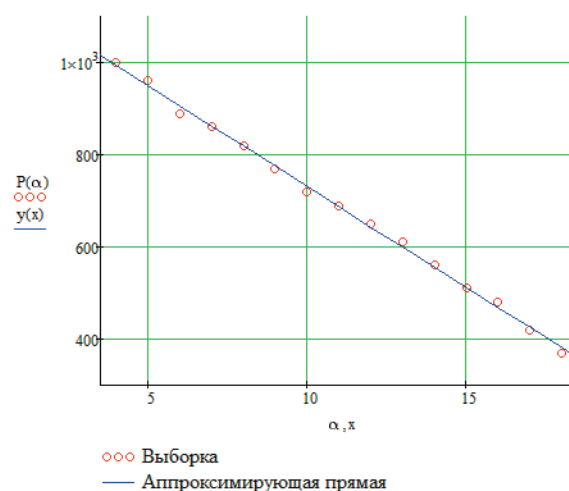


Рис.9. Аппроксимация первой выборки по МНК (экранный форма)

Чтобы оценить погрешность измерений для каждой выборки, необходимо выполнить следующие действия:

- провести аппроксимацию с помощью МНК;
- по полученной зависимости рассчитать значения невязок;
- провести анализ функции распределения невязок и выбрать оптимальный закон распределения по критерию минимума среднего модуля погрешности неадекватности (СМПН) модели по ГОСТ Р 50.2.004-2000;
- оценить измеренные значения и их неопределённости.

В качестве примера проведём расчёт первой выборки в среде пакета Mathcad. Аппроксимация $y(x)$ первой выборки по МНК представлена на рис. 9.

Расчёт значений невязок v_i , $i=0..14$ представлен на рис. 10.

Построим функцию распределения невязок и выберем оптимальный закон распределения по критерию минимума в среде Mathcad. Результаты представлены на рис. 11.

Обработав данные первой выборки, можем сделать следующий вывод: нормальный закон является наиболее оптимальным для описания распределения при СМПН, равным 0,579.

$y(\alpha) =$	0		$v := P(\alpha) - y(\alpha) =$	0
	0	994.127		5.873
	1	950.261		9.739
	2	906.519		-16.519
	3	862.572		-2.572
	4	818.792		1.208
	5	774.981		-4.981
	6	731.1		-11.1
	7	687.335		2.665
	8	643.531		6.469
	9	599.624		10.376
	10	555.81		4.19
	11	512.05		-2.05
	12	468.25		11.75
	13	424.408		-4.408
	14	380.647		-10.647

Рис.10. Расчёт значений невязок v_i (экранная форма)

При рассмотрении остальных выборок получены следующие выводы:

1. Закон распределения Лапласа является наиболее оптимальным для описания распределения второй выборки при СМРН равным 0,536. В то же время нормальный закон распределения имеет СМРН равный 0,677 (превышает значение СМРН по Лапласу на 26,3%).

2. Нормальный закон является наиболее оптимальным для описания распределения третьей выборки при СМРН, равным 0,666.

3. Равномерный закон является наиболее оптимальным для описания распределения четвертой выборки при СМРН равным 1,09. В то же время нормальный закон распределения имеет СМРН, равный 1,157 (превышает значение СМРН равномерного закона распределения на 6,1%).

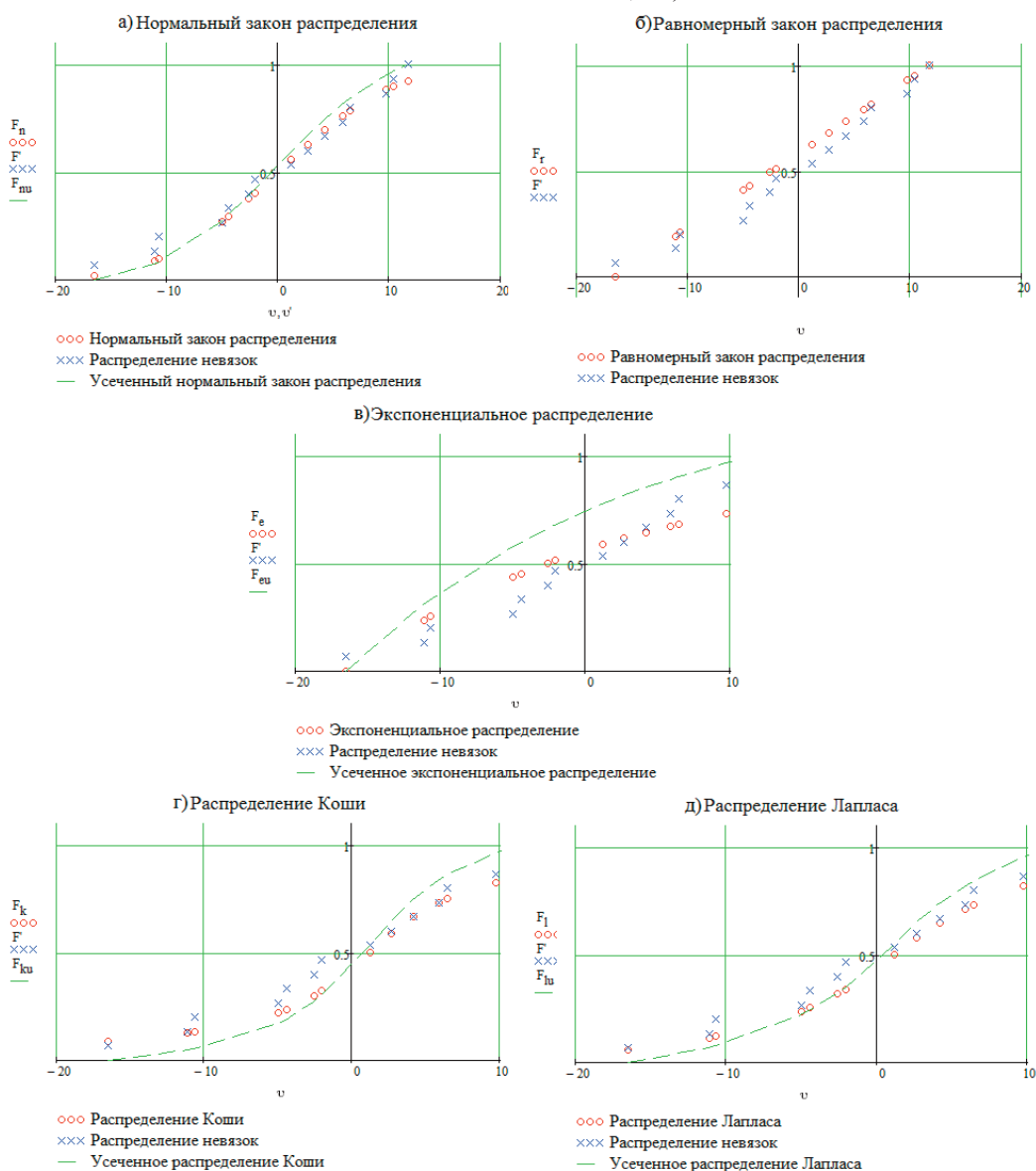


Рис.11. Выбор оптимального закона распределения

$$u_A := \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (v_i)^2}{n-2}} = 8.804$$

$$u_{A(p0)} := \sqrt{\frac{D_{11}}{D}} \cdot u_A = 6.211$$

$$u_{A(k)} := \sqrt{\frac{D_{22}}{D}} \cdot u_A = 0.526$$

	0
0	8.307
1	8.834
2	9.359
3	9.887
4	10.412
5	10.938
6	11.465
7	11.991
8	12.516
9	13.044
10	13.57
11	14.095
12	14.621
13	15.147
14	15.673

$$u_{A(p)} := u_{A(p0)} + \alpha \cdot u_{A(k)} =$$

Рис.12. Расчёт неопределённости типа А (экранная форма)

Исходя из результатов обработки данных каждой выборки, можно сделать вывод, что нормальный закон является наиболее подходящим для описания распределения усилий на опорном ролике в зависимости от угла наклона платформы для четырёх положений планшайбы.

Расчёт погрешности измерений.

В качестве примера проведём расчёт первой выборки в среде пакета Mathcad.

Случайная погрешность в концепции неопределённости измерений носит название неопределённости, оцениваемой по типу А.

Расчёт неопределённости типа А представлен на рис. 12.

НСП в концепции неопределённости измерений носит название неопределённости, оцениваемой по типу В.

Расчёт неопределённости типа В представлен на рис. 13.

Рассчитав стандартную и расширенную неопределённость измерений, можно сделать вывод, что полученные значения погрешности малы по сравнению с экспериментальной величиной.

$$u_{B(p0)} := \frac{P_{0+} - P_{0-}}{2 \cdot \sqrt{3}} = 2.922$$

$$u_{B(k)} := \frac{k_+ - k_-}{2 \cdot \sqrt{3}} = -1.231 \times 10^{-14}$$

$$u_{B(p)} := u_{B(p0)} + u_{B(k)} \cdot \alpha =$$

	0
0	2.922
1	2.922
2	2.922
3	2.922
4	2.922
5	2.922
6	2.922
7	2.922
8	2.922
9	2.922
10	2.922
11	2.922
12	2.922
13	2.922
14	2.922

Рис.13. Расчёт неопределённости типа В (экранная форма)

	0
0	11.229
1	11.756
2	12.281
3	12.809
4	13.334
5	13.86
6	14.387
7	14.912
8	15.438
9	15.965
10	16.491
11	17.017
12	17.543
13	18.069
14	18.594

$$u_p := u_{A(p)} + u_{B(p)} =$$

	0
0	18.587
1	19.459
2	20.328
3	21.201
4	22.071
5	22.942
6	23.814
7	24.684
8	25.554
9	26.427
10	27.297
11	28.167
12	29.037
13	29.909
14	30.778

$$U_p := t_p \cdot u_p =$$

Рис.14. Расчёт стандартной и расширенной неопределённости (экранная форма)

УДК: 629.76:621.91.04

Писаренко А.А., Ковалев А.М.

Механообрабатывающий комплекс модели «ОСКО-2500» для фрезерования прямых каналов охлаждения на поверхности КС ЖРД

Линейка отечественных крупногабаритных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) практически не имеет аналогов в мире и востребована на мировом рынке ракетно-космической продукции, в том числе, в США.

Основными конструктивными особенностями ЖРД являются высокая плотность компоновки их основных функциональных агрегатов и узлов, конструктивные решения системы охлаждения камер сгорания и сопловых растробов, выполненных в виде пакетов тонкостенных, спаянных между собой сложнопрофильных облочек (рис. 1).

Наиболее сложным элементом систем охлаждения является при этом конструкция охлаждающих трактов, определяющая облик конструкции камеры в целом, обеспечивающая эффективность охлаждения, в конечном итоге, надёжность эксплуатации двигателя. В отечественном ракетостроении охлаждающие каналы формируются системой рёбер на стенках камер, получаемых, как правило, фрезерованием.

В связи со всё более возрастающими габаритами ЖРД для перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ), особенностями конструкции внутренних оболочек и высокими требованиями к точности её размеров, в том числе к толщине рёбер и остаточного полотна огневых стенок камер сгорания и сопел для фрезерования охлаждающих каналов требуются уникальные технологии и специальное оборудование.

В обеспечение этих задач во ФГУП «НПО «Техномаш» разработан специализированный механообрабатывающий комплекс, предназначенный для фрезерования прямых каналов охлаждения на поверхности нежестких крупногабаритных тел вращения с образующими в форме цилиндра и криволинейных тел вращения; при этом кинематика рабочих органов комплекса позволяет формировать пазы систем охлаждения как параллельно, так и перпендикулярно оси вращения фрезеруемой детали.

Станок выполнен по порталной компоновке; основные его узлы представлены на рис. 2.

Комплекс оснащён:

- цифровой системой числового программного управления (ЧПУ) типа SINUMERIK 840Di;
- системой автоматической адаптации параметров обработки к реальному контуру и фактической толщине обрабатываемой детали;

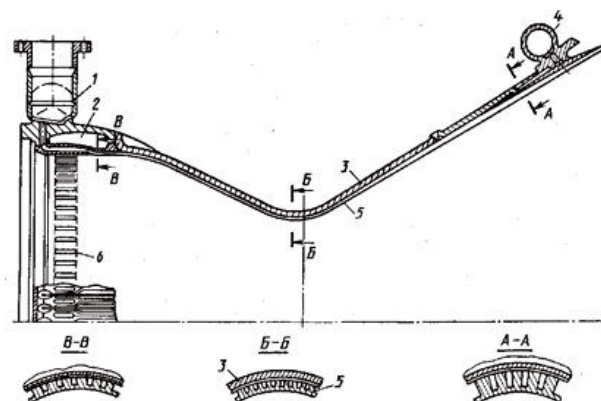


Рис. 1. Охлаждающий тракт ЖРД:

- 1 – выходной коллектор; 2 – акустический демпфер;
- 3 – наружная оболочка;
- 4 – выходной коллектор; 5 – внутренняя оболочка;
- 6 – каналы акустического демпфера

– системой корректировки программ управления по фактическому текущему износу режущего инструмента.

Литые несущие конструкции имеют коробчатое сечение, усиленное рёбрами жёсткости.

Статичный портал и поворотный стол установлены на едином сварном основании, что позволяет увеличить жёсткость конструкции станка в целом.

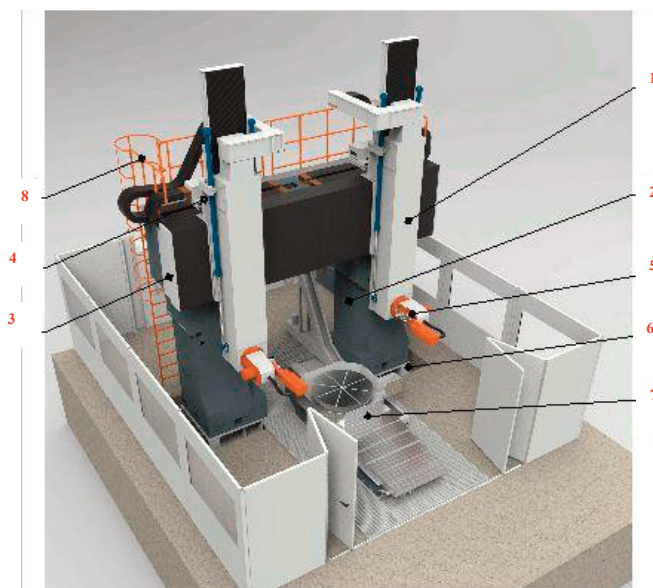


Рис. 2. 3D компоновка комплекса ОСКО-2500:

- 1 - суппорт (правый – левый); 2 - стойка (правая – левая);
- 3 – гофрозащита; 4 - каретки (правая – левая);
- 5 – головки фрезерные (правая – левая); 6 – основание;
- 7 – поворотный стол; 8 – площадка обслуживания



Обработка на станке ведётся в следующих режимах:

- с контролем остаточной толщины огневой стенки;
- с контролем глубины канала охлаждения;
- при обработке сечений диаметром от 1000 мм и выше реализована возможность режима параллельной обработки детали двумя фрезерными головками с контролем глубины канала охлаждения, что позволяет увеличить производительность станка, работающего в данном режиме, на 60 % процентов.

В состав комплекса входят:

- система адаптивного слежения, встроенная во фрезерную головку и предназначенная для отслеживания наружного контура заготовки во время обработки.

На основании этих замеров происходит врезание фрезы в стенку заготовки на заданную в системе ЧПУ величину;

- система ультразвукового контроля, обеспечивающая предварительный обмер заготовки и составления карты толщин на её развёртке;
- система корректировки программ управления по текущему износу режущего инструмента;
- измерительная система фирмы RENISHAW, позволяющая проводить часть контрольных операций по обмеру готового изделия после обработки без снятия его с рабочей оправки, что сокращает общее время процесса фрезерования системы каналов.

Таблица 1. Основные технические характеристики комплекса ОСКО-2500

№ п/п	Параметры	Значение
1	Класс точности оборудования по ГОСТ 8-82	Н
2	Режим работы оборудования	В соответствии с программой ЧПУ
3	Максимальные габариты обрабатываемых деталей, мм: – диаметр – высота	2500 2000
4	Диаметр планшайбы стола, мм	1800
5	Количество фрезерных головок, шт.	2
7	Точность обработки детали, мм: – по остаточному полотну – по толщине рёбер	$\pm 0,1$ $\pm 0,1$
8	Количество управляемых осей, шт.	10
9	Количество одновременно управляемых осей, шт.	7
10	Точность позиционирования по осям: – линейным, мм – угловым, сек	$\pm 0,025$ ± 30
12	Мощность привода главного движения, кВт	10
13	Частота вращения шпинделя главного движения, мин ⁻¹	до 6000
14	Конус шпинделя	MB50 фирма «Istar» (Израиль)
15	Режим измерительной машины	есть
16	Габаритные размеры ДхШхВ, мм	5350x4560x7300
17	Масса, кг	40000

Следует отметить, что зарубежных аналогов комплекса ОСКО-2500 нет, косвенными отечественными аналогами можно считать ранее разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» фрезерные станки моделей ДФ-824 (1978 г.) и ГФ-2141 (1985 г.).

УДК 517.938:629.78.018

Шемякин С.С.

Идентификация динамических характеристик механических систем по переходным процессам изделий РКТ

В настоящее время в качестве инструмента для получения экспериментальных данных при диагностике состояния сложных механических систем (МС) наибольшее распространение получил метод ударного воздействия или метод импульсного нагружения [1–4]. Данная методика широко используется для диагностики состояния роторных систем, но ее применение возможно для оценки состояния агрегатов и систем изделий различного назначения, например, изделий ракетно-космической техники (РКТ).

Существует актуальная задача оценки динамических характеристик по диагностическим параметрам изделий РКТ, например, разгонных блоков (РБ) и спускаемых аппаратов (СА). В штатной работе СА на изделие воздействуют различные неопределенные нагрузки ударного характера, близкие по свойствам к типовой δ -функции [5]. Это делает возможным применение метода импульсного нагружения. Вследствие ударных нагрузок в СА возбуждаются собственные частоты МС.

Уравнение колебаний в главных координатах (q) обратной задачи динамики МС будет выглядеть следующим образом:

$$M\ddot{q} + H\dot{q} + Cq = x, \quad (1)$$

где M , C , H – матрицы инерционных, демпфирующих и упругих коэффициентов.

Решить данную задачу можно двумя способами: по методу ширины пика, работающему в частотной области [6], и по методу стохастической идентификации, работающему во временной области (SSI) [7].

Метод ширины пика заключается в определении частот ω_1 и ω_2 , для которых амплитуда сигнала в раз меньше, чем на резонансной частоте. Логарифмический декремент затухания на n -ой частоте, который связан с демпфированием, будет определяться по формуле:

$$\lambda_n = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n}.$$

Существует модификация данного метода, которая даёт уточнённые результаты, описанные в работе [8]. Метод определения собственной частоты (f_c) по двум точкам (f_1, f_3) (рис.1):

$$f_c \cong \sqrt{\frac{\alpha_{13}f_1^2 + f_3^2}{1 + \alpha_{13}}},$$

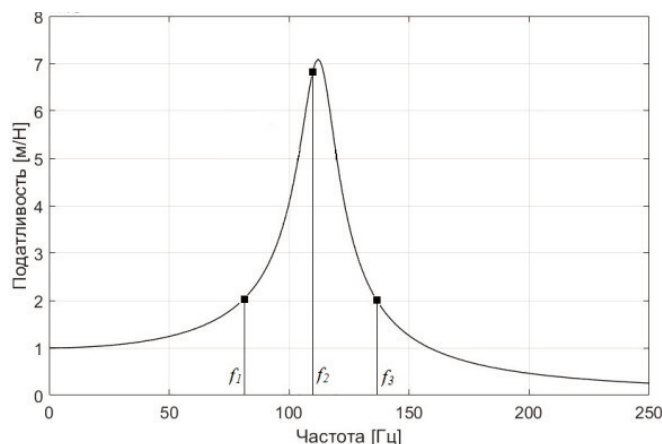


Рис. 1 – Оценка резонансной частоты и декремента затухания

где $\alpha_{13} = \frac{A_1}{A_3}$. Определение f_c по трем точкам (f_1, f_2, f_3)

(рис. 1):

$$f_c = 4 \sqrt{\frac{\alpha f_2^4 - f_3^4 - a(\alpha_{12}^2 f_1^4 - f_2^4)}{1 - a - a(1 - \alpha_{12}^2)}},$$

где $a = (\alpha f_2^2 - f_3^2)(\alpha_{12}^2 f_1^2 - f_2^2)^{-1}$, $\alpha = \frac{\alpha_{13}^2}{\alpha_{12}^2}$, $\alpha_{12} = \frac{A_1}{A_2}$.

Логарифмический декремент определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\pi}{f_c} \sqrt{\frac{(f_c^2 - f_2^2)^2 - \alpha_{12}^2 (f_c^2 - f_1^2)^2}{\alpha_{12}^2 f_1^2 - f_2^2}}.$$

Новым методом, уже завоевавшим популярность, является метод SSI. Основная область применения: идентификация форм колебания больших сооружений, идентификация модальных параметров роторных систем и определение параметров демпфирования сложных сборочных конструкций.

Динамическую модель, совершающую колебания под действием неизвестной силы, описанную уравнением (1), представляют в форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{x}_k = Ax_k + w_k \\ \dot{y}_k = Cx_k + v_k \end{cases}$$

где $x_k \in R^{n \times 1}$ – вектор состояния системы; n – порядок системы;



$y_k \in R^{1 \times 1}$ – отклик системы, измерения / выходов в дискретный момент времени k ;

$A \in R^{n \times n}$ – матрица состояния, описывающая динамику системы;

$C \in R^{1 \times n}$ – матрица наблюдения;

$w_k \in R^{n \times 1}$ – вектор, описывающий шум с входного неизвестного воздействия;

$v_k \in R^{n \times 1}$ – вектор, описывающий шум измерения.

Таким образом, показано, что существуют различные методы идентификации динамических систем. В работе [9] показана математическая модель определения собственных частот и демпфирования с использованием расчёта по двум и трём точкам. Использование метода SSI можно наблюдать у многих исследователей, например, в работе [10].

Список литературы

1. Сабиров Ф.С. Импульсный метод оценки динамических характеристик упругих систем станков // Инженерный журнал, №11, 2009. С. 38-43; Сабиров Ф.С., Кочинев Н.А. Квазистатические методы измерения баланса упругих перемещений несущей системы станков // Измерительная техника. 2006. -№6, С.32–35.
2. Sabirov F.S., Shemyakin S.S., Kochinev N.A. OPERATIONAL ASSESSMENT OF MACHINE TOOL VIBRATION RESISTANCE / 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016 2016. T.150. С. 215-219.
3. Сабиров Ф.С., Шемякин С.С. Оперативная оценка ви-

роустойчивости станков и состояния шпиндельных подшипников // Вестник машиностроения, № 8, 2015. С. 14–16.

4. Козочкин М.П., Маслов А.Р., Сабиров Ф.С., Порватов А.Н. Диагностика и сертификация металлорежущего оборудования. М.: Инновационное машиностроение. 2017. 240 с.

5. Кириенков В.В., Микитенко В.Г., Досько С.И. Модальная диагностика переходных неустановившихся процессов при оценке результатов испытаний изделий ракетно-космической техники // Космическая техника и технологии, 2016, №3 (14). С. 80–90.

6. Хомяков В.С. Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Экспериментальное и расчётное исследование динамических характеристик шпиндельных узлов // СТИН, 2009. № 3. С. 5–9.

7. Van Overschee P., De Moor B. L. Subspace identification for linear systems: Theory-Implementation-Applications. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012. 268 с.

8. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем // Монография. Киев: Наукова Думка, 1985. 216 с.

9. Сабиров Ф.С., Кочинев Н.А., Шемякин С.С. Влияние технологической оснастки на динамические характеристики шпиндельного узла токарного станка // Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 4 (35). С. 64–68.

10. Zhang G., Tang B., Tang G. An improved stochastic subspace identification for operational modal analysis // Measurement. 2012. T. 45. № 5. С. 1246–1256.

◆ ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

УДК 629.7:004

Баранов А.В., Должанский Ю.М., Кологов А.В., Тихомиров К.А., Хилков К.В.

Новые инновационные технологии неразрушающего контроля труднодоступных мест ДСЕ ЖРД типа РД 171, РД180, РД191

Одной из отличительных особенностей линейки отечественных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД-РД171-РД180-РД191), конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке космической продукции и услуг, включая США, является высокая плотность компоновки их функциональных агрегатов и узлов, затрудняющих, в частности, подходы ко многим сварным стыкам деталей и сборочных единиц (ДСЕ) конструкции ДУ и, соответственно, производственный контроль их качества.

Для повышения эффективности и достоверности результатов контроля труднодоступных мест сварных конструкций

ЖРД разработано¹ специальное оборудование, реализующее, инновационные мехатронные технологии контроля и технологии интеллектуального машинного зрения.

Разработанное оборудование обеспечивает не только надёжный контроль качества сварки, но и возможность автоматизированной обработки результатов контроля, наглядной идентификации обнаруженных при контроле дефектов, их объективного анализа и электронного архивирования результатов контроля.

¹ Совместно с разработчиком двигателей АО «НПО «Энергомаш» и ООО «НТЦ «Эталон».



Ниже приведено основное содержание электронных информационных паспортов на две основные позиции разработанного оборудования:

**Аппаратура нового поколения для неразрушающего контроля ДСЕ ЖРД
методами мехатронных технологий²**

Вид продукции: аппаратура.

Вид производства: производственный контроль.

Технологический процесс: контроль качества ДСЕ ЖРД.

Область применения: изготовление ЖРД.

Целевая программа, в обеспечение целей и задач которой разработана технология:

ФЦП «Развитие ОПК РФ на 2011–2020 годы».

Отраслевая значимость технологии: критическая.

Класс технологии: межотраслевая (универсальная).

Заказчик:

Госкорпорация «Роскосмос».

Щепкина ул., д. 42, ГСП-6, Москва 107996, Россия.

Дата заключения и № госконтракта:

№ гос. регистрации контракта:

шифр ОКР

сроки выполнения работ

Разработчик:

ФГУП «НПО «Техномаш»

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я, Москва, 127018, Россия.

Соисполнитель: ИТЦ УП РАН

Бурденко ул., д. 15, Москва, 117342, Россия

(разработка специального программного обеспечения)

Поставщик:

ФГУП «НПО «Техномаш»

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я, Москва, 127018, Россия

Стадия разработки: опытный образец

фактическое нахождение: ФГУП «НПО «Техномаш»

сохранная записка	письмо (акт) передачи
от 23.11.2016 №250-05/4989	—

от 15.12.2014 № 922-К722/14/396
0173100007014000251
ОКР «УККД»
2014-2016

Общие сведения:

Современные мехатронные технологии являются одним из перспективных методов эффективного дистанционного выявления дефектов типа:

- поверхностных трещин и микротрещин;
- загрязнений органическими веществами в труднодоступных местах изделий сложной конфигурации, прежде всего, в двигателном производстве РКП.

Разработанная для реализации и мехатронных технологий аппаратура (рис. 1) сконструирована на передвижной модульной установке и обеспечивает:

- непрерывное отображение видеоизображения с зондирующей камеры на экране процессорного блока;
- капиллярный контроль с последовательным нанесением дефектоскопических материалов (пенетрантов) для выявления поверхностных дефектов с шириной раскрытия менее 10 мкм;

– визуальное фиксирование следов дефектоскопических материалов в местах наличия дефектов и органических загрязнений на контролируемых поверхностях веществами, обладающими флуоресцентными свойствами (рис. 2);

- обнаружение органических загрязнений поверхности.

Процесс регистрации и обработки результатов контроля автоматизирован с формированием интерактивной библиотеки (базы данных) дефектов.

Пенетранты для капиллярного контроля наносятся в зоны контроля дистанционно.

Для обнаружения загрязнений в зоне контроля предусмотрена возможность работы установки с освещением контролируемых поверхностей в ультрафиолетовом диапазоне.

Проверка чувствительности контроля проводится на эталонных контрольных образцах в специальном блоке проверки чувствительности.

Разработанное оборудование универсально и может применяться в лабораторных и производственных условиях в других отраслях промышленности.

² Информационный паспорт ФГУП «НПО «Техномаш», 2017, №225. 6 с.

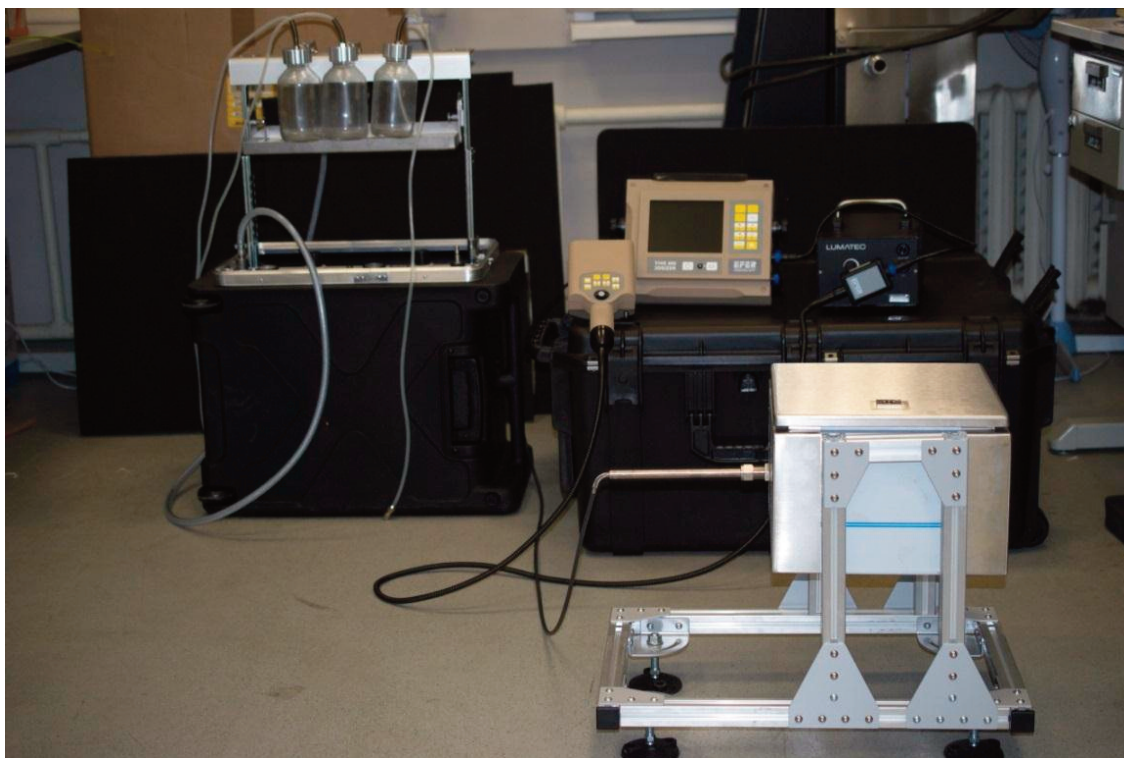


Рис. 1. Общий вид опытного образца комплекта оборудования (ФГУП «НПО «Техномаш»)

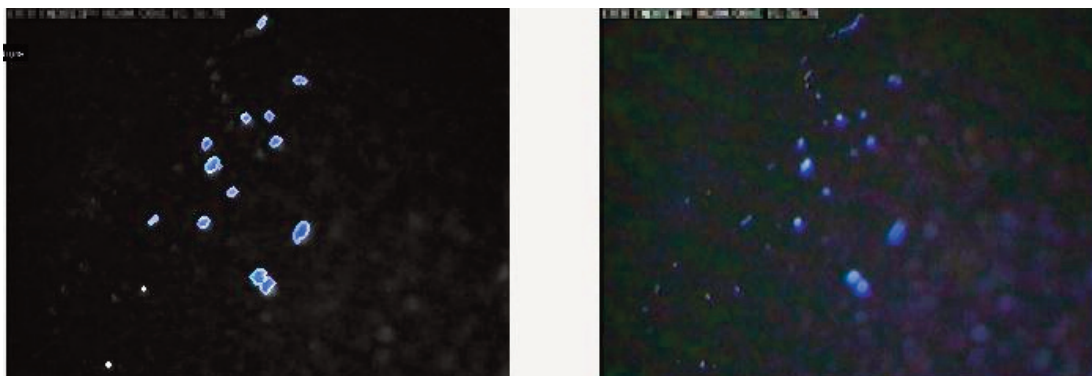


Рис. 2. Визуализация дефектов в окне монитора оператора

Наличие аналогов

- в России: нет;
- за рубежом: нет сведений.

Сравнительные технические характеристики:

Основные сравнительные характеристики	Разработанное оборудование	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
минимальные размеры (ширина раскрытия) выявляемых дефектов типа поверхностных трещин, мкм	10	аналогов нет	сведений об аналогах нет
рабочее давление в пневмосистеме, кгс/см ²	4		
питание, ВхГц	220х50		
потребляемая мощность, Вт	900		
общая масса комплекта аппаратуры, кг	80		
габаритные размеры рабочего места, м	610х500		

Документы, характеризующие технический уровень разработки:

–	КД ТМКБ.6.25.315.00.00.000;
–	руководство по эксплуатации ТМКБ.6.25.315.00.00.000 РЭ;
–	технические условия ТМКБ.6.25.315.00.00.000 ТУ;
–	типовой технологический процесс неразрушающего контроля качества элементов ДСЕ ЖРД методами мехатронной технологии 922.02203.25044.

Рынок конкурентоспособности вновь разрабатываемой продукции:

рынок России.

Предприятия, на которых планируется внедрение технологии (оборудования)

Название предприятия	Год начала использования технологии	Изделия, для изготовления которых используется (планируется использовать) технология
АО «НПО Энергомаш» им. академика В.П. Глушко»	2018	(универсальное оборудование)

Аппаратура нового поколения для неразрушающего контроля ДСЕ ЖРД методами интеллектуального машинного зрения³

Вид продукции: аппаратура.

Вид производства: производственный контроль.

Технологический процесс: контроль качества ДСЕ ЖРД.

Область применения: изготовление ЖРД.

Целевая программа, в обеспечение целей и задач которой разработана технология:

ФЦП «Развитие ОПК РФ на 2011–2020 годы».

Отраслевая значимость технологии: опытная.

Класс технологии: межотраслевая (универсальная).

Заказчик:

Госкорпорация «Роскосмос»,
Щепкина ул., д. 42, ГСП-6, Москва 107996, Россия.

Дата заключения и № госконтракта:

№ гос. регистрации контракта:

шифр ОКР

сроки выполнения работ:

Разработчик:

ФГУП «НПО «Техномаш»,
3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я, Москва, 127018, Россия.

Поставщик:

ФГУП «НПО «Техномаш»,
3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я, Москва, 127018, Россия.

фактическое нахождение: ФГУП «НПО «Техномаш»

сохранная записка	письмо (акт) передачи
от 23.11.2016 № 250-05/4989	-

от 15.12.2014 № 922-К722/14/396
0173100007014000251
ОКР «УККД»
2014–2016

Общие сведения (описание, характерные особенности и новации, фото и т. д.):

Аппаратура, основным элементом которой является оптически-электронный зонд (рис. 3), предназначена для визуально-измерительного контроля внутренних поверхностей ДСЕ ЖРД сложной конфигурации.

Принцип работы прибора основан на стереоскопической регистрации объекта контроля с последующей цифровой обработкой просмотренных изображений.

Результаты контроля фиксируются в электронном виде с возможностью их архивирования.



Рис. 3. Общий вид комплекта

³ Информационный паспорт ФГУП «НПО «Техномаш», 2017, № 226. 6 с.

Прибор разработан и изготовлен по блочной схеме и имеет следующие составные части:

- входная оптическая система;
- зонд оптико-электронный, состоящий из оптико-электронного тракта, рукоятки-манипулятора, источника света и электронного тракта;
- блок управления, обработки и визуализации результатов контроля;
- комплект оснастки.

Входная оптическая система предназначена для формирования стереоскопического изображения контролируемого объекта; тип системы – призмная стереоскопическая; направление обзора – прямое.

Зонд оптико-электронный (основная часть прибора) предназначен для формирования, регистрации и передачи изображения труднодоступных объектов контроля; зонд формирует, регистрирует и передает стереоскопическое изображение.

Дистальный конец зонда, на который устанавливается оптическая система, может контролируемо изгибаться, изменяя направление обзора.

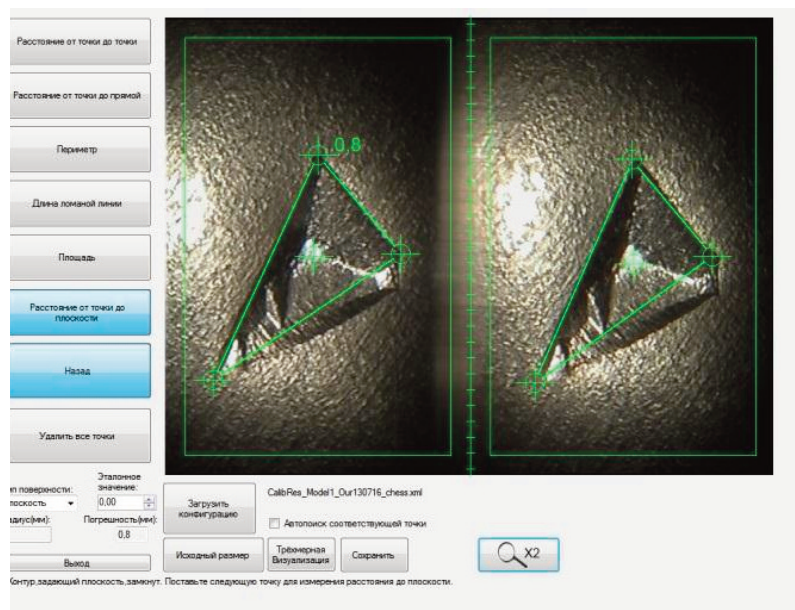


Рис. 4. Рабочее окно оператора контроля

Блок управления, обработки и визуализации представляет собой специализированный компьютер, предназначенный для оцифровки, записи, хранения, обработки и визуализации данных, а также для управления параметрами зонда.

Пример рабочего окна блока управления представлен на рис. 4.

Наличие аналогов в России: нет; за рубежом: нет сведений.			
Сравнительные технические характеристики:			
Основные сравнительные характеристики	Разработанное оборудование	Аналоги	
		отечественный	зарубежный
диапазон размеров измеряемых дефектов, мм погрешность геометрических измерения, мм характеристики входной оптической системы: – поле обзора, град. – габариты, мм диапазон отклонений дистального конца в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (регулируется рукояткой манипулятора) град. длина дистального конца, мм минимальный радиусгиба, мм разрешение изображения, пикселей частота смены кадров, Гц спектральный диапазон, нм световой поток, лм рабочий диапазон углов ориентации по отношению к нормали к исследуемому участку поверхности, град. рабочий диапазон расстояний от торца оптико-электронного зонда до исследуемого участка поверхности, мм	1–3	аналогов нет	сведений об аналогах нет
	0,05		
	30×40		
	Ø 6,1×1960		
	± 100		
	53		
	80		
	788×576		
	25		
	450 – 700		
	240		
	± 15		
	10–30		

Документы, характеризующие технический уровень разработки:

– сертификаты: сертификат соответствия ФГУП «ВНИИМС» от 01.09.2016 №16.000.0611 (действителен по 01.09.2019);
другие документы (технологические процессы, технические условия и т.п.):
– КД НДКБ.401142.001;
– руководство по эксплуатации НДКБ.401142.001 РЭ;
– паспорт НДКБ.401142.001 ПС;
– формуляр НДКБ.401142.001 ФО;
– технические условия НДКБ.401142.001 ТУ;
– типовой технологический процесс неразрушающего контроля качества элементов ДСЕ ЖРД для технологии интеллектуального машинного зрения № 922.02203.25048;
– научные публикации: нет.

Рынок конкурентоспособности вновь разрабатываемой продукции:

рынок России.

Предприятия, на которых планируется внедрение технологии (оборудования):

Название предприятия	Год начала использования технологии	Изделия, для изготовления которых используется (планируется использовать) технология
АО «НПО Энергомаш» им. академика В.П. Глушко»	2018	(универсальное оборудование)

◆ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ РКТ

УДК 629.78

Бараев А.В., Илингина А.В., Должанский Ю.М.

К вопросу сопровождения разработки и производства изделий РКТ

Основными задачами ФГУП «НПО «Техномаш» в части научно-технического и технологического сопровождения изделий ракетно-космической техники (РКТ) определены:

- обеспечение выполнения в установленные сроки мероприятий, соответствующих федеральных программ на предприятиях-разработчиках и предприятиях-изготовителях;
- выдача заключений на материалы эскизных проектов вновь разрабатываемых изделий РКТ в части обоснованности выбора производственно-технологической базы, обеспечивающей реализацию проектов в планируемые сроки;
- выдача по требованию Заказчика заключений о готовности производственной базы предприятий-изготовителей в части технологии изготовления изделий.

В обеспечение выполнения этих задач на последовательных этапах жизненного цикла изделий проводятся работы, перечисленные на блок-схеме (рис. 1).

В 2017 году в порядке выполнения работ по научно-техническому и технологическому сопровождению на этапах проектирования, наземной экспериментальной отрабо-

ботки, лётных испытаний, подготовки серийного производства актуальных образцов РКТ ФГУП «НПО «Техномаш» выполнены следующие работы:

- проведена экспертиза материалов эскизных проектов перспективных изделий: «Ресурс-ПМ», «Космо-АИС-М-2022», «Корона-К», «АРКА», «Гироскоп-2025» (ВТГ), «Гироскоп-2025» (ВОГ) «Гироскоп-2025» (СГК), КА «Глонасс-К2», разрабатываемых в рамках ОКР «КК-В-Независимость», КК «Луна-Ресурс»;
- проведена экспертиза дополнений к эскизному проекту посадочного аппарата комплекса «Луна-Ресурс-1»;
- проанализированы результаты устранения замечаний дополнения к эскизному проекту на КК «Луна-Ресурс-1» (орбитальный аппарат) и осуществлено участие в комиссии по приёмке ОКР;
- осуществлено участие в комиссионных проверках по указанию Госкорпорации «Роскосмос» по контролю организации производства, организации входного контроля и обеспечения качества и СМК на предприятиях ЗАО «НТЦ «Модуль», АО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнева»,



Рис. 1. Блок-схема работ по сопровождению разработки и производства изделий РКТ на этапах НИР, аванпроектов (технических предложений), эскизных проектов и последующих этапах жизненного цикла изделий

АО «НПП «Геофизика-Космос», ОАО «МКБ Компас», АО «НПК «Исток», ОАО «Ярославский радиозавод», АО «НПО Лавочкина», АО «РИРВ», ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «НПЦ «Полус», ФГУП ОКБ «Факел», ВМЗ – филиале ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «КБХА», «КБХИМаш» – филиале ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»;

– разработан и реализован план мероприятий по обеспечению требуемой чистоты топливных баков двигательной установки 77КМЛ (МЛМ);

– проведён анализ и согласование более 30 технических актов по переборке и доработке задела жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) на ВМЗ – филиале ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»;

– проведён анализ и согласование «Программы отработки и внедрения технологии замены газогенераторов» и технологической документации по замене газогенераторов в двигателях 8Д411К/8Д412К, 8Д49 и др.

По результатам участия ФГУП «НПО «Техномаш» в работах межведомственных рабочих групп по выяснению несоответствий при нештатной работе составных частей РН типа «Союз-У», «Протон-М» проведены работы по систематизированному анализу и оценке:

- причин отказов изделий РКТ;
- соблюдения технологий изготовления и сборки изделий, соблюдения требований конструкторской, нормативной и технологической документации при разработке и изготовлении изделий;
- реализации мероприятий по перепроверке двигателей 8Д411К/8Д412К и 8Д49, а также 11Д55 в соответствии с разработанной «Методикой перепроверки отсутствия посторонних частиц в полостях насоса окислителя 11Д55-02-020 на двигателях 11Д55, находящихся в заделе»;
- разработаны предложения по реализации мероприятий по фотодокументированию производственных процессов на ВМЗ – филиале АО «ГКНПЦ им. М.В.Хруничева».

Одним из важных этапов системы сопровождения создания изделий РКТ является определение основных направлений технического перевооружения предприятий отрасли, а также формирование тематики, сроков проведения и оценка объёмов бюджетного финансирования ОКР на разработку новых технологий и специального технологического оборудования, при этом целесообразно использовать единую форму содержания заявок, возможный вариант которой приведен ниже (табл. 1).



Таблица 1

(проект) Анкета заявки на разработку технологии (оборудования) в обеспечение задач ФЦП в части производства изделий РКТ Наименование организации-заявителя: _____		
Раздел 1. Целевое назначение и основные технические показатели разработки		
1	Изделия (предприятия), в интересах которых разрабатывается технология (оборудование): — в обеспечение ФЦП «ОПК»; — в обеспечение «ФКПР»	
2	Вид производства	
3	Шифр и полное наименование технологии (оборудования)	
4	Планируемые сроки выполнения ОКР	
5	Запрашиваемые объёмы финансирования ОКР	
6	Краткое описание и основные технические показатели технологии (оборудования):	
7	Отраслевая значимость технологии	базовая
		критическая
		импортозамещающая
		возрождаемая
		(иная)
8	Аналоги разрабатываемой технологии (оборудования)	отечественные
		зарубежные
Раздел 2. Внедрение результатов ОКР		
9	Предприятие, на котором будет внедрена технология (которому будет передан опытный образец оборудования)	
10	Объёмы финансирования внедрения технологии (монтажа и освоения оборудования)	
11	Планируемые сроки внедрения технологии (монтажа и освоения оборудования)	
12	Требуемый комплекс мероприятий по внедрению технологии (монтажу и освоению оборудования)	
Заявитель _____ _____ _____ должность подпись расшифровка подписи МП СОГЛАСОВАНО от предприятия, планирующего внедрение _____ _____ _____ должность подпись расшифровка подписи МП		

В заключение приведём порядок формирования отраслевой тематики технологических ОКР на очередные плановые периоды.

Один из объективных и рациональных алгоритмов такой соответствующей процедуры предложен в [1]; в алгоритме фрагменты Анкеты целесообразно использовать в качестве элементов таблицы экспертного оценивания приоритетности заявляемой ОКР.

Список литературы

Макаров Ю.Н., Шавырин Е.К., Сухоруков А.Г., Поро tikova О.П., Должанский Ю.М., Чурсин В.М. Алгоритм формирования оптимального перечня НИОКР при заданном (фиксированном) объёме общего финансирования // Сварочное производство. 2009, №10. С. 51–55.

УДК 681.7.052.5

Кологов А.В., Савельев А.А., Перевозников А.Ю.

Направления деятельности лаборатории вакуумных покрытий

Лаборатория вакуумных покрытий отделения технологии и неразрушающих методов контроля ФГУП «НПО «Техномаш» имеет богатый опыт нанесения вакуумных покрытий широкого спектра материалов на изделия различного назначения.

Все вакуумные покрытия, которые могут быть нанесены в лаборатории, можно разделить на следующие группы:

- защитные (антидеструкционные);
- терморегулирующие (высокоотражающие);
- антистатические;
- радиотехнические;
- износостойкие.

1. *Антидеструкционное вакуумное покрытие* предназначено для защиты полимерных композиционных материалов (ПКМ) от воздействия атомарного кислорода в условиях космического пространства. Воздействие атомарного кислорода приводит к ускоренной деструкции ПКМ, что значительно ограничивает срок службы космических аппаратов (КА), продление которого возможно путём защиты поверхности деталей из ПКМ специальным антидеструкционным вакуумным покрытием.

Лабораторией вакуумных покрытий разработаны технологический процесс и оборудование для нанесения антидеструкционного покрытия на элементы углепластиковых стержневых ферменных конструкций антенн, что позволит в несколько раз продлить срок их эксплуатации.

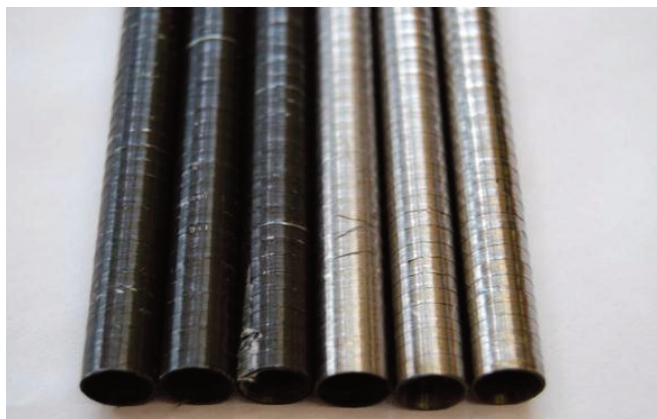


Рис. 1. Элементы углепластиковых ферменных стержневых конструкций до и после нанесения антидеструкционного покрытия



Рис. 2. КА «Кондор» с трубчатой конструкцией каркасов антенн

2. *Терморегулирующее вакуумное покрытие*

Поддержание заданного теплового режима КА является одним из условий успешного выполнения программы космического полёта. Нанесение терморегулирующего покрытия (ТРП) классов «истинный отражатель» или «солнечный отражатель» на узлы и детали терморегулирующих систем различных КА с заданными терморadiационными свойствами позволяет обеспечить необходимый тепловой режим КА.



Рис. 3. Детали с нанесённым терморегулирующим покрытием

В качестве терморегулирующего покрытия для КА возможно применение плазмохимического металлокремнийорганического покрытия (ПМК ВП), которое состоит из двух слоёв – высокоотражающего и защитного.

Высокоотражающий слой обеспечивает получение необходимых терморadiационных характеристик поверхно-

сти, а защитный слой обеспечивает сохранение отражающих и терморadiационных свойств покрытия при длительной эксплуатации изделия в условиях космоса.

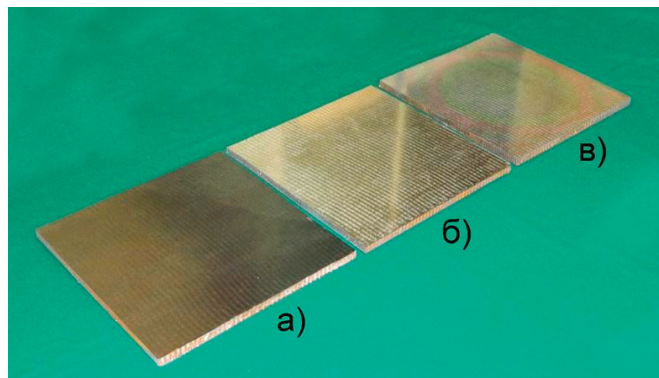


Рис. 4. Углепластиковые фацеты сотовой конструкции:
а) до нанесения покрытия;
б) с высокоотражающим покрытием (сплав АД0);
в) с высокоотражающим и защитным покрытием

Нанесение многослойного терморегулирующего покрытия класса «солнечный отражатель» также возможно на пластины радиационно стойкого кварцевого стекла К-208.

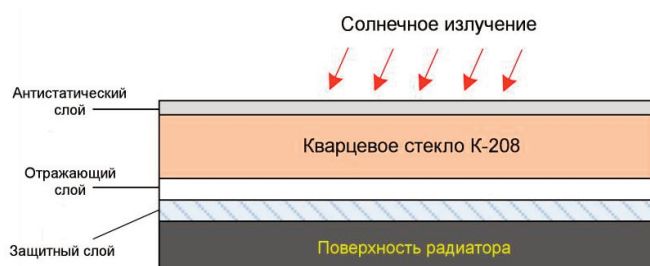


Рис. 5. Структура терморегулирующего элемента К-208Ср

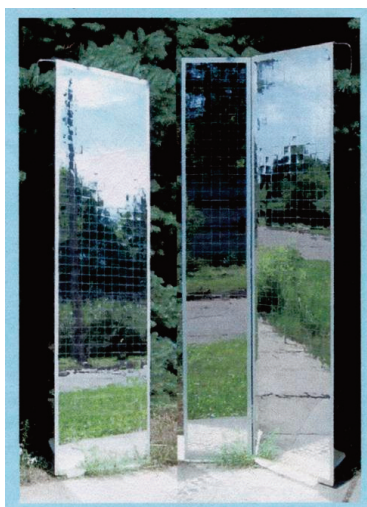


Рис. 6. Панель радиатора с наклеенными терморегулирующими элементами К-208Ср

Терморегулирующий элемент на основе кварцевого стекла К-208Ср обладает наименьшим значением соотношения

терморadiационных характеристик As/ϵ по сравнению с силикатными и лакокрасочными покрытиями, а также имеет высокую радиационную стойкость благодаря добавке диоксида церия. Для защиты от статического электричества на внешнюю поверхность кварцевого стекла наносится антистатическое покрытие.

3. Антистатическое вакуумное покрытие

В настоящее время одним из наиболее распространённых и надёжных средств пассивного терморегулирования КА является экранно-вакуумная теплоизоляция, применение которой обеспечивает возможность существенно снизить интенсивность теплообмена элементов конструкции и оборудования КА с окружающей средой, то есть уменьшить тепловой поток, поступающий к КА от солнца.

В процессе эксплуатации наружный облицовочный слой экранно-вакуумной теплоизоляции непосредственно взаимодействует с космической плазмой. Это приводит к электростатическому заряджению диэлектрического материала полимерной плёнки до потенциалов, превышающих электрическую прочность материала. Возникающие при этом электрические разряды вызывают деградацию электрофизических и терморadiационных свойств материала. Электромагнитное излучение, сопровождающее электрические разряды, через кабельную сеть воздействует на бортовую радиоэлектронную аппаратуру и часто выводит её из строя.

Для решения этой проблемы на лицевую сторону наносится прозрачное антистатическое покрытие, препятствующее электростатическому заряджению материала.

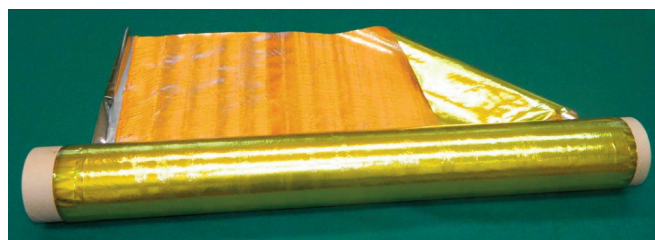


Рис. 7. Длинномерный рулонный полиимидный материал «АРМ-60» для экранно-вакуумной теплоизоляции

В качестве материала для антистатического покрытия применяется оксид индия-олова (ИТО). При этом в процессе нанесения покрытия необходимо обеспечить прозрачность и стабильно высокую электрическую проводимость по всей площади экранно-вакуумной теплоизоляции.

4. Радиотехническое вакуумное покрытие

В радиотехнических целях возможно нанесение многофункционального (электропроводное, солнцезащитное)

щее и радиоотражающее) покрытия с заданным комплексом свойств на рабочую поверхность зеркал и рефлекторов антенных устройств из композиционных неметаллических материалов.

Как правило, радиотехническое покрытие состоит из радиоотражающего слоя алюминия с высоким коэффициентом отражения и защитного слоя из нержавеющей стали для обеспечения стабильности свойств функционального слоя.



Рис. 8. Рефлектор антенного устройства с нанесённым радиоотражающим покрытием

5. Электродугуговая очистка

Другое направление деятельности лаборатории вакуумных покрытий – электродугуговая разрядная очистка металлических изделий в вакууме.

Для очистки деталей в производственном цикле их изготовления традиционно применяют технологии:

- механической очистки (обдувка дробью, сухая абразивная или гидроабразивная обработка);
- химической очистки (травление в щелочных и кислотных растворах).

Механическая очистка изделий сложной формы – это трудоёмкий и малопроизводительный процесс, после которого требуется химическая доочистка.

Химическая очистка (травление в горячих кислотах при 80–90°C с последующей нейтрализацией и промывкой) имеет следующие недостатки:

- большие мощности для нагрева кислот;
- тяжёлые условия труда;
- сложность утилизации и регенерации отходов травильных растворов;
- необходимость применения дорогостоящих кислотостойких материалов.

Технология электродугуговой разрядной очистки лишена всех отмеченных недостатков и позволяет производить очистку заготовок и готовых деталей, сортового проката, металлической ленты и проволоки от окалины, ржавчины, окисных плёнок.

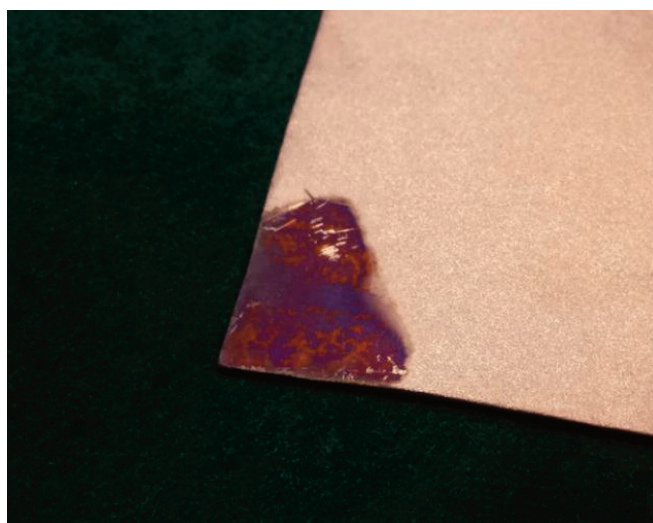


Рис. 9. Титановый образец после проведения электродугуговой очистки (левый нижний угол показывает поверхность изделия до очистки)

Материал для покрытия того или иного назначения выбирается, исходя из конкретных технических требований. Возможно нанесение широкого спектра материалов (алюминий, серебро, нержавеющая сталь, нихром, медь, оксид индия-олова, SiO_x, ГМДС (N) и др.) на различные типы подложек (металлические подложки, кварцевое стекло, композиционные неметаллические материалы, покрытые лаком поверхности, плёночные материалы и т.д.).

♦ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

УДК 621.791.722

Кулик В.И., Картузов Н.О., Гудков А.В., Машико Р.В.

Современное оборудование для электронно-лучевой сварки крупногабаритных корпусных конструкций изделий РКТ

В статье изложены результаты разработки опытных образцов оборудования для электронно-лучевой сварки в локальном и общем вакууме для изготовления крупногабаритных корпусных конструкций изделий ракетно-космической техники, которое позволит повысить механические свойства сварных соединений, уменьшить массогабаритные характеристики и снизить энергозатраты на производство и себестоимость корпусных конструкций ракет-носителей.

Ключевые слова: современное сварочное оборудование, электронно-лучевая сварка, крупногабаритные корпусные конструкции.

В настоящее время электронно-лучевая сварка (ЭЛС) является незаменимым технологическим процессом в таких наукоемких отраслях промышленности как самолётостроение, аэрокосмическая техника, кораблестроение, энергетическое машиностроение. Повышение требований к качеству сварных швов, эффективности и надёжности сварочного оборудования, учитывая физический и моральный износ действующего оборудования для ЭЛС, а также изменение геометрических параметров изделий ракетно-космической техники (РКТ) и применение перспективных высокопрочных алюминиевых сплавов требует разработки новых, современных образцов оборудования для ЭЛС в локальном и общем вакууме для изготовления крупногабаритных корпусных конструкций изделий РКТ. Разработка современного оборудования для ЭЛС позволит повысить механические свойства сварных соединений, уменьшить удельные массогабаритные характеристики корпусных элементов изделий РКТ и снизить энергозатраты на производство и себестоимость изготовления крупногабаритных корпусных конструкций ракет-носителей (РН).

Целью выполнения данной работы являются разработка технологии и создание оборудования для ЭЛС:

1. В локальном вакууме заготовок шпангоутов толщиной до 140,0 мм и продольных швов обечаек РН.
2. Врезных фланцев в цилиндрические обечайки, конические и сферические днища корпусных изделий.
3. Кольцевых швов обечаек диаметром до 3500 мм.
4. В общем вакууме деталей сборочных единиц (ДСЕ) корпусных изделий РКТ из перспективных алюминиевых сплавов.

В настоящее время данное оборудование находится в стадии изготовления.

Установка ЭЛС в локальном вакууме врезных фланцев предназначена для сварки фланцев диаметром от 30 до 200 мм в цилиндрические обечайки диаметром до 3500 мм, конические и сферические днища корпусных изделий РКТ. Радиус днищ от 1800 до 2500 мм. В днища ввариваются врезные элементы диаметром от 90 до 295 мм. Врезные элементы расположены под углом от 0° до 50°.

Стеновая часть установки ЭЛС состоит из верхней и нижней площадок, перил, лестниц, вертикальных стоек, задней стенки.

Механизмы установки и вращения электронно-лучевой пушки (ЭЛП) располагаются на верхней площадке стеновой части установки ЭЛС.

Вакуумная камера имеет объём 0,4 м³ и состоит из двух камер – верхней и нижней. Верхняя камера неподвижная, закреплена на верхней консоли.

Нижняя камера закреплена на нижней консоли с механизмом поджатия, установленным на заднюю стенку стеновой части установки.

На нижнем торце верхней камеры и на верхнем торце нижней камеры предусмотрены съёмные элементы, которые непосредственно контактируют с поверхностью оболочки и обеспечивают герметизацию конкретных типоразмеров фланцев с помощью резиновых уплотнений. Уплотнительная оснастка выполняется для каждого типоразмера (диаметра) врезного фланца отдельно для обечаек, сферических и конических днищ.

В установке ЭЛС использовали безмасляную вакуумную систему на базе турбомолекулярных насосов (ТМН) (Osaka Vacuum, Япония) и форвакуумных насосов серии MU (Kashiyama, Япония). Каждая камера вакуумируется отдельными вакуумными насосами.

Общий вид опытного образца установки ЭЛС в общем вакууме ДСЕ изделий РКТ представлен на рис. 1.

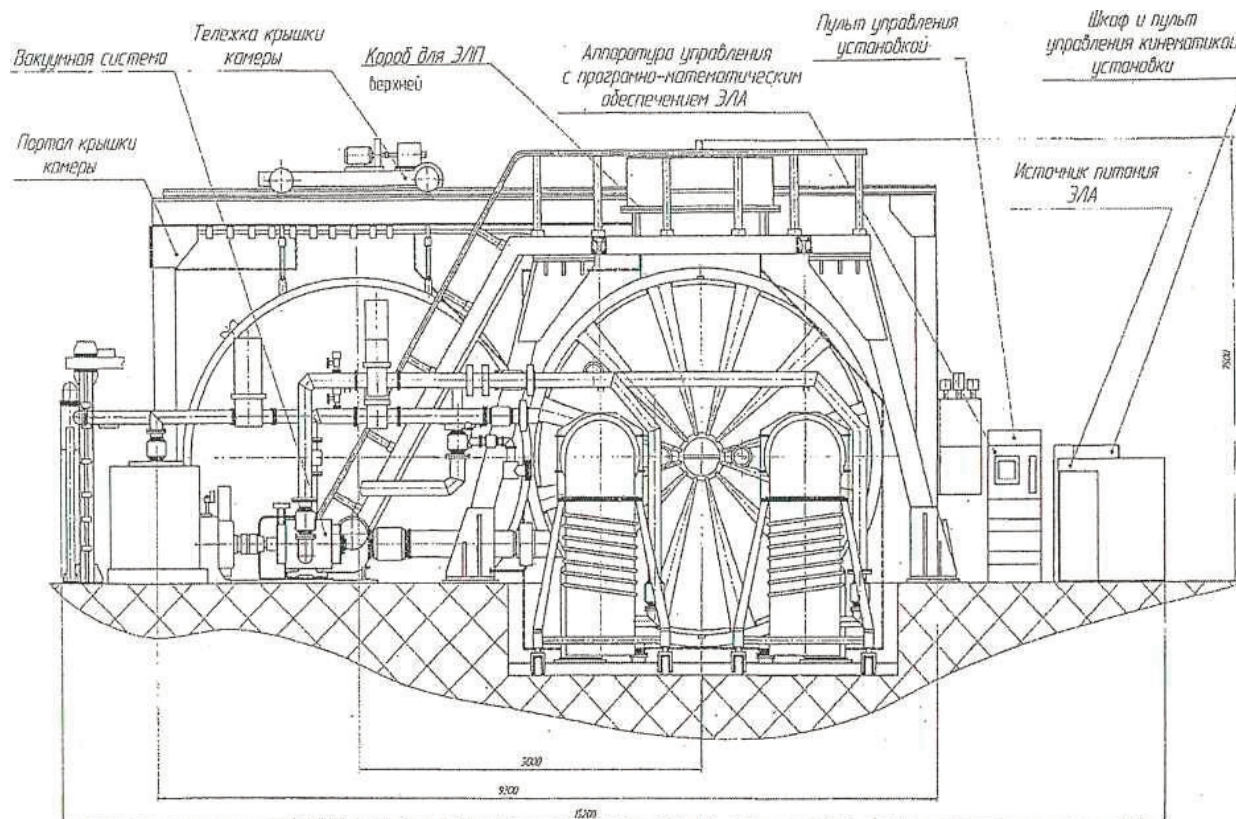


Рис. 1. Общий вид опытного образца установки ЭЛС в общем вакууме ДСЕ изделий РКТ

Таблица 1. Технические характеристики установки для ЭЛС в общем вакууме ДСЕ изделий РКТ

№ п/п	Параметры	Значение
1	Габариты врезных фланцев, мм: – толщина – врезных элементов – диаметр сб. единицы – длина	от 8 до 15 до 260 до 3500 до 3600
2	Ускоряющее напряжение, кВ	30
3	Ток луча, мА	от 1 до 500
4	Скорость сварки, м/ч	от 5 до 60
5	Остаточное давление в камере, мм рт. ст.	от 1×10^{-4} до 5×10^{-5}
6	Время откачки камеры, мин., не более	45
7	Ход ЭЛП по горизонтали, мм	2000
8	Ход ЭЛП по вертикали, мм	1200
9	Ход боковой ЭЛП по горизонтали, мм	до 2200
10	Диаметр вращения ЭЛП для ЭЛС круговых швов, мм	от 30 до 260
11	Точность позиционирования ЭЛП, мм	$\pm 0,03$
12	Угол поворота ЭЛП вокруг оси врезного фланца, градус	420
13	Габариты установки, ориентировочно, мм: – длина – ширина – высота	23000 13720 7175



Установка ЭЛС в общем вакууме ДСЕ корпусных конструкций изделий РКТ предназначена для ЭЛС продольных, кольцевых и круговых швов отсеков диаметром до 3500 мм, длиной до 3600 мм и днищ.

Вакуумная камера данной установки имеет объём 140 м³ и состоит из:

- цилиндрической части камеры с верхним и боковым коробом;
- крышки глухой;
- крышки, перемещаемой тележкой по portalу в положение «открыто/закрыто»;
- системы герметизации крышки с помощью спецзахватов;
- иллюминаторов визуального наблюдения;
- механизма перемещения и вращения верхней ЭЛП;
- механизма перемещения боковой ЭЛП.

Крышка камеры висит на тележке portalа и перемещается в положение «открыто/закрыто». Герметизация крышки происходит за счёт гидравлических зажимов. Вакуумная камера цилиндрическая, с верхним и боковым коробом для размещения верхней и боковой ЭЛП. Схема поперечного сечения камеры приведена на рис. 2.

Материал камеры – коррозионностойкая сталь типа 12Х18Н10Т толщиной 22 мм по условиям защиты от рентгеновского излучения, сопутствующего процессу ЭЛС.

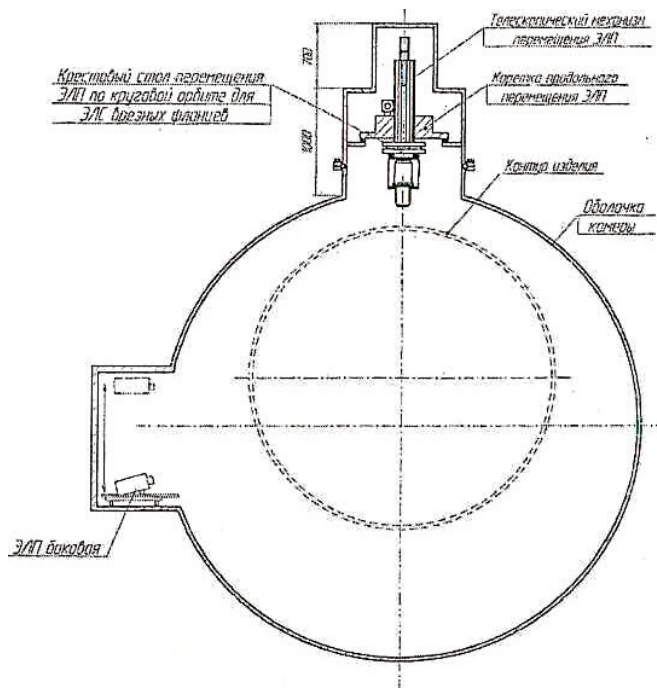


Рис. 2. Схема поперечного сечения камеры общего вакуумирования

Механизм перемещения верхней ЭЛП крепится по краям жёстких элементов короба, подкреплённых рёбрами жёсткости. Вращение ЭЛП для ЭЛС круговых швов выполняется за счёт программирования по координатам X, Y крестового стола пушки.

Боковая ЭЛП располагается внутри камеры в «кармане», выходящем за пределы внутреннего диаметра камеры, ниже горизонтальной оси детали на 15°.

Перемещение, вращение и наклон свариваемого изделия выполняется с помощью манипулятора с наклоном

Таблица 2. Технические характеристики установки для ЭЛС в локальном вакууме кольцевых швов обечаек диаметром до 3500 мм

№ п/п	Параметры	Значение
1	Габариты сварочных единиц, мм – толщина – диаметр – длина	15 до 3500 до 4000
2	Ускоряющее напряжение, кВ	30
3	Ток луча, мА	от 1 до 500
4	Скорость сварки, м/ч	от 5 до 60
5	Остаточное давление в камере, мм рт. ст.	от 1×10^{-4} до 5×10^{-5}
6	Время откачки камеры, мин, не более	30
7	Габариты установки, мм: – длина – ширина – высота	8000 12000 5000

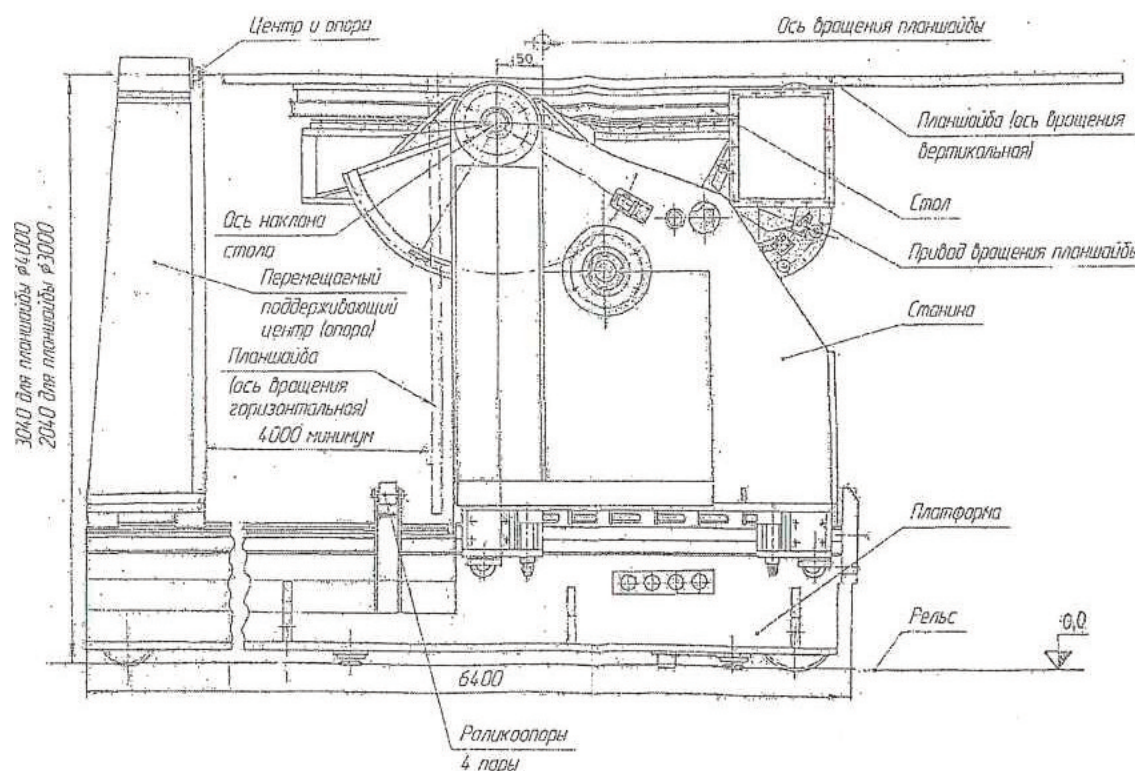


Рис. 3. Манипулятор на планшайбе

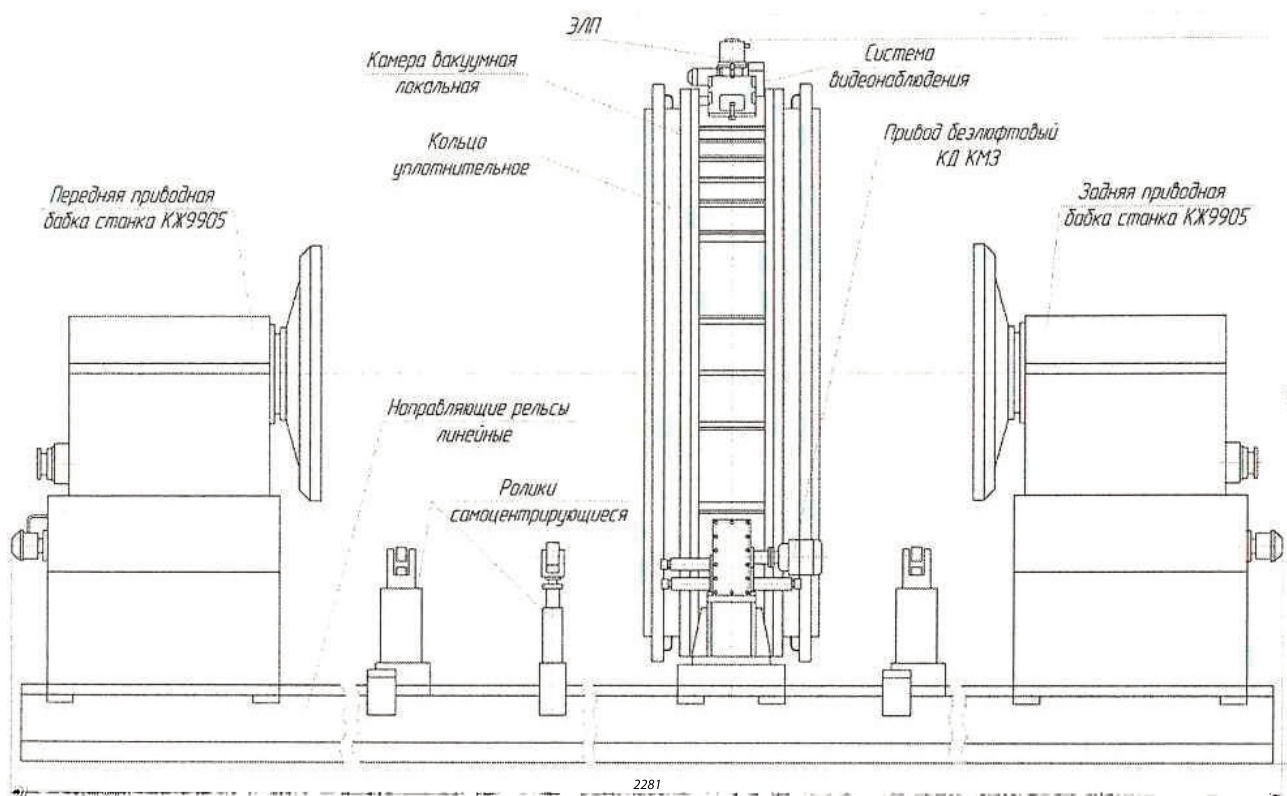


Рис. 4. Общий вид опытного образца установки ЭЛС в локальном вакууме кольцевых швов обечаек диаметром до 3500 мм

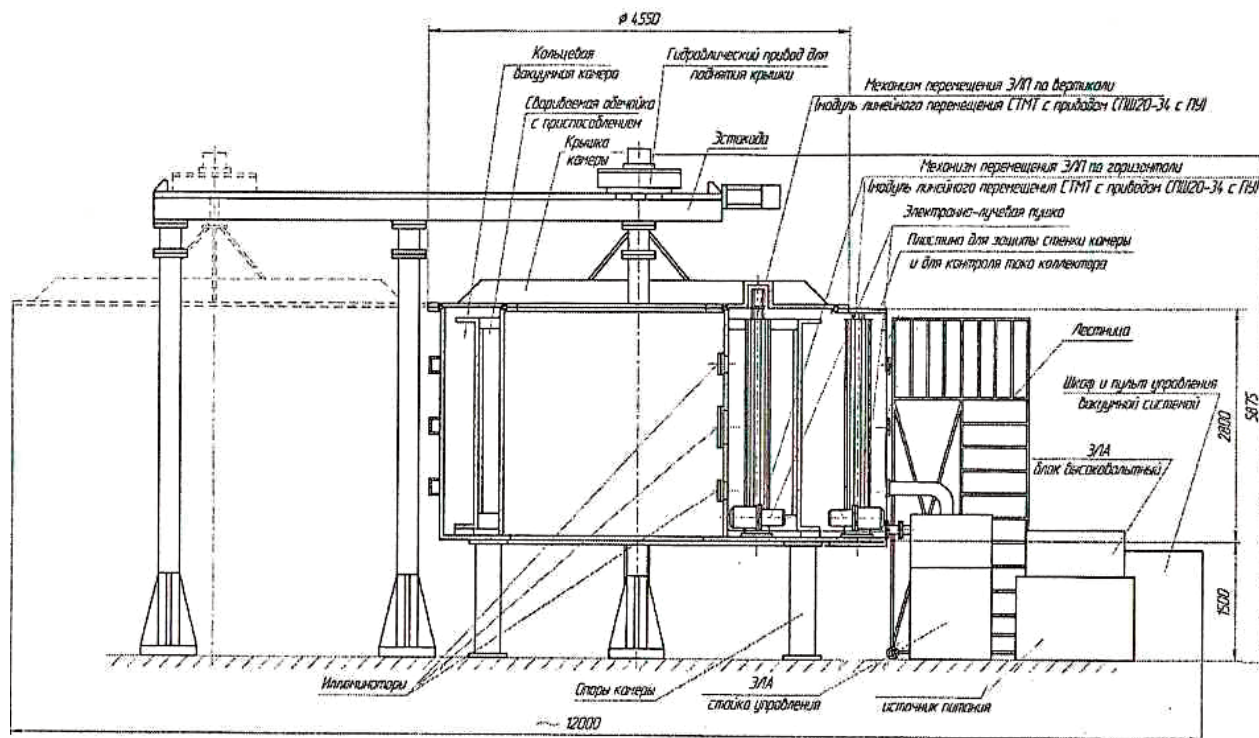


Рис. 5. Общий вид установки для ЭЛС в локальном вакууме заготовок шпангоутов и продольных швов обечаек РН

планшайбы 90°, устанавливаемом на платформе с поддерживающим центром. Манипулятор на платформе будет использоваться как станок для сварки отсеков с поддерживающим центром, и как манипулятор для ЭЛС днищ с наклоном планшайбы от 0° до 90°. Данная конструкция объединяет функции двух механизмов – манипулятора и станка с поддерживающими центрами. Манипулятор представлен на рис. 3.

Общий вид опытного образца установки ЭЛС в локальном вакууме кольцевых швов обечаек диаметром до 3500 мм представлен на рис. 4.

Данная установка ЭЛС в локальном вакууме предназначена для ЭЛС кольцевых швов отсеков изделий РКТ.

Локальная вакуумная камера имеет объем 1 м³ и представляет собой кольцевую конструкцию, которая охватывает объем кольцевого стыка изделия снаружи и состоит из неподвижного кольца и двух щек (левой и правой) со специальными уплотнениями на поверхности изделия. Неподвижное кольцо и щёки соединены с помощью скользящего уплотнения. Неподвижное кольцо устанавливается на собственное основание, которое перемещается вдоль оси станка типа КЖ-9905. Локальная камера имеет собственный привод вращения свариваемого изделия (планшайбы станка типа КЖ-9905 в процессе сварки отключены).

Наиболее сложным узлом в данном оборудовании, определяющем надёжность технологии ЭЛС, является узел уплотнения локальной камеры со свариваемым изделием.

Для решения этой проблемы проведён анализ нескольких вариантов узлов уплотнения и выбран оптимальный вариант с применением фиксирующих лепестков и подачи давления внутрь объёма резинового уплотнения при помощи вакуумного насоса-компрессора ВНК-2 (АО «Вакууммаш», Казань).

Общий вид установки ЭЛС в локальном вакууме заготовок шпангоутов и продольных швов обечаек РН представлен на рис. 5.

Установка ЭЛС в локальном вакууме заготовок шпангоутов и продольных швов обечаек РН предназначена для сварки продольных швов обечаек диаметром до 3500 мм, высотой до 2300 мм, толщиной стенок до 26 мм и заготовок шпангоутов диаметром до 3500 мм, толщиной до 140 мм и высотой до 300 мм.

Выбран вариант установки с кольцевой вакуумной камерой, соответствующей геометрическим размерам заготовок шпангоутов и обечаек, то есть локальной кольцевой камерой для кольцевых конструкций. При такой конструкции уменьшается объём камеры и, как следствие, уменьшается время откачки рабочего вакуума. Сбоку камеры расположен короб, в котором размещена вторая ЭЛП для сварки обечаек большего диаметра с наружной стороны обечайки. Внутри камеры будет установлен кольцевой поворотный стол со скоростью вращения ~ 60 м/ч.

Крышка камеры имеет кольцевую форму, соответствующую форме камеры. Для открытия/закрытия крышки ис-



Таблица 3. Технические характеристики опытного образца установки для ЭЛС заготовок шпангоутов и продольных швов обечаек РН

Параметры	Значение
Габариты заготовок шпангоутов, мм: – толщина – диаметр	до 140 до 3500
Ускоряющее напряжение, кВ	60
Ток луча, мА	от 1 до 1000
Скорость сварки, м/ч	от 5 до 60
Способ сварки	горизонтальным лучом снизу-вверх
Остаточное давление в камере, мм рт. ст.	от 1×10^{-4} до 5×10^{-5}
Время откачки камеры, мин.	не более 35
Ход сварочной пушки, мм – в горизонтальной плоскости – в вертикальной плоскости	± 20 2400
Габариты установки, ориентировочно, мм: – длина – ширина – высота	15000 8000 2400

пользуется механическая тележка с электроприводом, которая перемещается по рельсам эстакады. Грузоподъемным устройством является гидроцилиндр с гидравлической системой с ходом 200 ± 50 мм и грузоподъемностью до 3000 кг.

Манипулятор ЭЛП выполнен в виде прямоугольной колонны, к которой закреплён модуль линейного перемещения с ходом рабочего стола 2400 мм и приводом с программным управлением. ЭЛП имеет возможность установочно поворачиваться на угол $\pm 20^\circ$ относительно горизонтальной оси (в плоскости стыка) и $\pm 10^\circ$ относительно горизонтальной оси (поперёк плоскости стыка). Манипулятор ЭЛП, используемый для сварки с внутренней стороны обечаек, является перенастраиваемым на рабочее положение ЭЛС продольного стыка изнутри или снаружи.

Так как максимальная толщина свариваемых шпангоутов составляет 140 мм, установка будет укомплектована энергетическим комплексом мощностью 60 кВт (60 кВ) с двумя ЭЛП для возможности проведения процесса сварки как с внутренней, так и с внешней стороны обечайки.

Все описанные выше установки ЭЛС, за исключением последней, будут укомплектованы энергетическими комплексами на основе инверторного источника питания мощностью 15 кВт (30 кВ). Особенностью аппаратуры является полное отсутствие в ней высоковольтной ламповой техники. Все основные элементы выполнены с использованием современной преобразовательной техники, позволяющей обеспечить высокий коэффициент полезного действия (КПД) преобразования энергии (до 0,95) малую на-

копительную энергию, что особо важно при устранении влияния пробоев в пушке, существенно влияющих на качество сварного соединения. В аппаратуре реализованы основные функциональные возможности, позволяющие обеспечить высокое качество сварных соединений и удобство работы оператора.

На всех установках ЭЛС предусмотрены системы блокировок, которые обеспечивают безопасную работу персонала, защиту узлов комплекса от ошибочных действий оператора, блокировку механических движений и отключение электропитания при аварийных ситуациях.

Подводя итог, можно с уверенностью утверждать, что применение современных образцов промышленных установок для ЭЛС позволит снизить себестоимость сварных конструкций за счёт снижения массы конструкции, трудоёмкости и энергозатрат, а также увеличить производительность предприятий, задействованных в производстве крупногабаритных корпусных конструкций изделий РКТ.

Список литературы

1. Назаренко О.К., Кайдалов А.А., Ковбасенко С.Н. Электронно-лучевая сварка // Под ред. Б.Е. Патона. Киев: Наукова думка, 1987. С. 65-66.
2. РД 24.949.04-90. Сварка электронно-лучевая изделий тяжёлого машиностроения. Технические требования. Москва, 1990.
3. Мамутов Е.Л. Электронно-лучевая сварка деталей большой толщины. М.: Машиностроение. 1992.



✦ ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.78

Чичварин В.Ф.

К 60-й годовщине создания первой межконтинентальной баллистической ракеты Р7 и запуска первого искусственного спутника Земли

С начала холодной войны в конце 40-х годов прошлого столетия резко обострилась международная обстановка в мире.

Владея атомным оружием, США окружили Советский Союз своими военными базами со стратегическими бомбардировщиками.

СССР было необходимо обеспечить свою безопасность. Стоявшие на вооружении баллистические ракеты имели дальность, не превышающую 1200 км. Для поражения целей на территории вероятного противника Советскому Союзу требовалось создать новую ракету.

Предварительные изыскания по её созданию начались в 1950 году в ОКБ-1 во главе с главным конструктором С.П. Королёвым и привлечением других профильных организаций.

Был проведён детальный выбор схемы ракеты, её оптимальных параметров, числа ступеней, начальной массы, тяги двигателей и других характеристик.

В процессе дальнейших проработок к 1954 году определился облик ракеты – пакетная компоновка, масса боевого заряда 3000 кг (общая масса головной части ракеты до 5500 кг), дальность полёта 8000 км, унифицированные двигатели для всех блоков. Из-за условий эксплуатации пришлось отказаться от привычного стартового стола и создать старт с нетрадиционным способом подвески ракеты на специальных откидывающихся фермах, что позволило не нагружать нижнюю часть ракеты при стоянке и уменьшить её массу.

Для обеспечения заданной точности стрельбы в качестве управляющих органов впервые применили поворотные рулевые камеры, которые обеспечивали конечную ступень тяги после выключения основного маршевого двигателя.

После отказа главного конструктора маршевых двигателей В.П. Глушко разрабатывать рулевые двигатели С.П. Королёв поручил эту работу отделу М.В. Мельникова своего ОКБ.

На каждом боковом блоке устанавливались по два рулевых двигателя, а на центральном блоке – четыре.

20 мая 1954 года принято постановление по разработке двухступенчатой ракеты Р7 (8К71), определены головной разработчик – ОКБ-1 НИИ-88 и соисполнители – ОКБ-456 (двигатели), НИИ-885 (система управления), ГС КБ «Спецмаш» (наземное оборудование), НИИ-10 (гироприборы), КБ-11 (специальный заряд) и НИИ-4 МО (полигонные испытания).

Эскизный проект по ракетному комплексу Р7 был готов в июле 1954 года. Создание ракеты Р7 решило многие научно-технические задачи и способствовало разработке и созданию новых конструктивных решений, нашедших применение и дальнейшее развитие в последующих разработках.

Конструкция ракеты Р7 принципиально отличалась от всех ранее созданных ракет своей компоновочной и силовой схемами, габаритами и массой, мощностью двигательных установок, количеством и назначением систем.

Она состояла из четырёх одинаковых боковых ракетных блоков, которые крепились к центральному блоку.

По внутренней компоновке как боковые, так и центральный блоки, были аналогичны одноступенчатым ракетам с передним расположением бака окислителя. Топливные баки всех блоков являлись несущими. Двигатели всех пяти блоков начинали работать с земли, при разделении ступеней боковые двигатели выключались, а центральный блок продолжал полёт.

На каждом блоке устанавливался унифицированный четырёхкамерный ЖРД с тягой 80–90 т.с.

Аппаратура системы управления размещалась в основном в межбаковом отсеке центрального блока.

Головная часть ракеты, которая должна входить в плотные слои атмосферы со скоростью 7800 метров в секунду, представляла собой конус длиной 7,25 м и массой 5500 кг. Время полёта головной части до цели – 31 минута.

Экспертной комиссией во главе с академиком М.В. Келдышем, а затем и Советом Министров СССР эскизный проект ракеты Р7 (8К71) был одобрен и положен в основу дальнейших работ.



Параллельно с разработкой рабочей документации на заводе п/я 924 (ныне – ЗЭМ РКК «Энергия») в г. Калининграде МО началось изготовление ракеты.

В 1956 году цех главной сборки 39, где находился первый макетный образец ракеты Р7 (в составе центрального блока и пристыкованного к нему одного из боковых блоков) посетили члены Президиума ЦК КПСС во главе с Н.С. Хрущевым, после чего темпы работ были ускорены.

В 1956 году изготовили несколько блоков ракеты для стендовых испытаний и наземной отработки, а чуть позже – первый лётный образец, заводские контрольные испытания которого проводились в филиале 2 НИИ-88 (ныне г. Пересвет) из-за неготовности заводской контрольно-испытательной станции. Несмотря на все трудности, первая ракета для примерочных и отладочных работ в конце 1956 года отправилась на полигон «Байконур».

Новизна конструкции ракеты, новые принципы построения пусковой установки потребовали значительного объема экспериментальной отработки систем ракеты и ракеты в целом.

На Ленинградском металлическом заводе были отработаны технология сборки ракеты из транспортабельных блоков в «пакет», методика и технология установки ракеты на пусковую установку, а также проведена отработка безударного выхода ракеты из стартовой системы.

Огневые испытания ракетных блоков и ракеты в целом (с июля 1956 года по март 1957 года) осуществлялись на стендовой базе филиала 2 НИИ-88, построенной специально для отработки Р7.

В 1955 году в районе железнодорожной станции Тюретам построен Научно-исследовательский испытательный полигон №5 МО СССР (НИИП №5 МО СССР) – ныне космодром Байконур – для ракеты Р7.

В марте 1957 года на техническую позицию полигона прибыла первая ракета Р7 №М1-5 для проведения лётно-конструкторских испытаний (ЛКИ).

Для ЛКИ предусматривалось изготовить 12 ракет, две из которых после соответствующих доработок были использованы для запуска первых искусственных спутников Земли.

Первый пуск ракеты Р7 состоялся 15 мая 1957 года. На 98 секунде оторвался боковой блок «Д». Причиной отрыва явилась негерметичность топливной магистрали горячего.

Второй пуск, назначенный на 11 июня, не состоялся. При третьей попытке запуска двигателей про-

изошло аварийное выключение двигательных установок на режиме предварительной ступени тяги из-за неправильной установки клапана азотной продувки магистрали окислителя центрального блока. Ракету сняли с пускового устройства и возвратили на техническую позицию.

Третий пуск состоялся 12 июля 1957 года. На 33 секунде полёта ракета потеряла устойчивость из-за замыкания в системе управления.

Четвертый пуск ракеты Р7 № М1-8 состоялся 21 августа 1957 года и оказался успешным – ракета впервые достигла района цели.

27 августа 1957 года по всем СМИ прошло сообщение ТАСС об испытаниях в Советском Союзе межконтинентальной баллистической ракеты:

«В соответствии с планом научно-исследовательских работ в Советском Союзе проведены успешные испытания межконтинентальной баллистической ракеты, а также взрывы ядерного и термоядерного оружия.

На днях осуществлён запуск сверхдальней межконтинентальной многоступенчатой баллистической ракеты.

Испытания ракеты прошли успешно, они полностью подтвердили правильность расчетов и выбранной конструкции. Полёт ракеты происходил на большой, ещё до сих пор не достигнутой высоте. Пройдя в короткое время огромное расстояние, ракета попала в заданный район.

Полученные результаты показывают, что имеется возможность пуска ракет в любой район земного шара. Решение проблемы создания межконтинентальных баллистических ракет позволит достигать удаленных районов, не прибегая к стратегической авиации, которая в настоящее время является уязвимой для современных средств противоздушной обороны.

Учитывая огромный вклад в развитие науки и большое значение этого научно-технического достижения для укрепления обороноспособности Советского государства, Советское правительство выразило благодарность большому коллективу работников, принимавших участие в разработке и изготовлении межконтинентальных баллистических ракет и комплекса средств, обеспечивающих их запуск.

В 1958 году завершены лётно-конструкторские испытания (ЛКИ) межконтинентальной баллистической ракеты Р7 (8К71) и 20 января 1960 года она была принята на вооружение Советской Армии.



Работы по совершенствованию ракеты Р7 продолжились, и в 1960 году начались ЛКИ её модернизированного варианта – МБР Р-7А (8К74) с дальностью полёта 11 тыс. км, принятой на вооружение взамен Р7.

После освоения производства Р7 на заводе п/я 924 в 1956 году принято решение о подключении для серийного производства Куйбышевского авиационного завода «Прогресс» (директор В.Я. Литвинов).

Первая ракета на заводе «Прогресс» собиралась из деталей и узлов, изготовленных под контролем специалистов завода п/я 924.

В дальнейшем на «Прогрессе» был организован филиал ОКБ-1 во главе с Д.И. Козловым, заместителем С.П. Королёва.

В 1974 году этот филиал преобразовался в самостоятельную организацию – Центральное специальное конструкторское бюро (ЦСКБ), с передачей ему технической документации на ракету Р7 и её модификации для их серийного производства на заводе «Прогресс».

На базе ракеты Р7 создано целое семейство ракет-носителей (РН) среднего класса, которые внесли существенный вклад в освоение космоса, начиная с РН «Спутник», вынесшей в космос первый искусственный спутник Земли, до РН «Союз-ФГ», которая применяется для пилотируемых полётов в настоящее время.

Всего по 2017 год осуществлен запуск около двух тысяч таких ракет. Именно на ракетах этого семейства отправались в космос многие искусственные спутники Земли, межпланетные станции, в том числе к Луне, Венере, Марсу, осуществлены запуски в космос всех советских и российских космонавтов, начиная с Юрия Гагарина.

Проект по разработке межконтинентальной ракеты Р7 представлял собой одну из наиболее крупных научных и инженерно-технических программ, которые когда-либо были реализованы в СССР. Реализация данного проекта стала отправной точкой к развитию многих отраслей науки и техники.

Созданная как современное оружие, ракета Р7 обладала значительным энергетическим ресурсом, который позволял выводить на околоземные орбиты полезную нагрузку достаточно большой массы, что и было использовано при запуске первых спутников Земли.

27 мая 1954 года С.П. Королёв направил докладную записку министру оборонной промышленности СССР Д.Ф. Устинову о разработке искусственного

спутника Земли и возможности его запуска будущей ракетой Р7.

Теоретическим обоснованием для этого явилась серия научно-исследовательских работ, проведённых в 1950–1953 гг. в НИИ-4 Министерства обороны СССР под руководством М.К. Тихонравова. Первоначально 30 января 1956 года Правительством СССР подписано постановление о создании и выводе на орбиту в 1957–1958 гг. объекта «Д» – спутника массой 1000–1400 кг, несущего 200–300 кг научной аппаратуры.

Разработка аппарата поручалась АН СССР, изготовление спутника – ОКБ-1, осуществление пуска – Министерству обороны СССР.

К концу 1956 года стало ясно, что надёжная аппаратура для спутника не может быть создана в требуемые сроки.

1958 год был объявлен Международным геофизическим годом. В связи с этим США ставили своей целью в 1958 году запустить свой искусственный спутник Земли.

Чтобы не потерять приоритет Советского Союза С.П. Королёв предложил вместо сложной лаборатории – объекта «Д» – вывести в космос простейший спутник, используя для этого наличие двух готовых ракет Р7.

День запуска первого искусственного спутника Земли совпал с открытием очередного Международного конгресса по астронавтике в Барселоне.

Академик Л.И. Седов сделал сенсационное сообщение о выводе на орбиту советского спутника Земли. Так как руководители советской космической программы в силу секретности проводимых работ были неизвестны в широких кругах, именно Л.И. Седов стал известен мировой общественности как «отец Спутника». Запуск первого искусственного спутника Земли осуществился 4 октября 1957 года.

Спутник представлял собой шар диаметром 58 см и массой 83,6 кг. Корпус спутника был изготовлен из алюминево-магниевого сплава АМг-6 толщиной 2 мм с полированной наружной поверхностью для придания ему специальных оптических свойств.

На верхней части спутника располагались крест-накрест две уголкового вибраторные антенны длиной по 2,4 м (УКВ-антенна) и по 2,9 м (КВ-антенна) обращённые назад.

Такие антенны обеспечили близкое к равномерному излучению во всех направлениях в связи с тем, что спутник был не ориентирован в пространстве.

Внутри герметичного корпуса размещались серебряно-цинковые аккумуляторы, радиопередающие устройства, система терморегулирования и датчики.



Перед запуском спутник заполнили сухим газообразным азотом давлением 1,3 атм.

Сигналы спутника имели вид телеграфных посылок («бипов») длительностью около 0,4 секунды.

Прием сигналов спутника уверенно осуществлялся с помощью обычной радиолобительской аппаратуры на расстоянии до 2–3 тыс. км.

Спутник просуществовал до 4 января 1958 года, совершив 1440 оборотов вокруг Земли и пролетов 60 млн км.

Газеты того времени печатали время пролета спутника над городами для его визуального наблюдения. Для этого в Москве и в некоторых других городах были оборудованы специальные площадки с телескопами и биноклями.

Существовало мнение, что спутник можно увидеть и невооруженным глазом, однако это был не спутник, а вторая ступень ракеты, летевшая после отделения спутника по той же траектории.

Впервые всему миру ракета Р7 в варианте РН для полёта Ю.А. Гагарина была представлена в 1967 году на Международном авиационном салоне Ля-Бурже во Франции.

Затем этот полноразмерный макет ракеты установили на ВДНХ, где он находится в настоящее время.

Полноразмерные макеты ракеты Р7 установлены также на территории РКК «Энергия» в г. Королеве, Калуге, Ленинске (космодром Байконур) и Самаре.

Запуск в СССР искусственного спутника Земли имел большое политическое значение, нанеся сильный удар по престижу США, которые осуществили запуск своего первого искусственного спутника «Эксплорер-1» командой Вернера Фон Брауна только 1 февраля 1958 года. Он был в шесть раз меньше спутника СССР – масса его составляла 13,37 кг. Масса научной аппаратуры составляла 4,5 кг. Причем спутник не отделялся от четвёртой ступени РН, которая являлась частью его конструкции.

НИТИ-40 (ФГУП «НПО «Техномаш») внёс определённый вклад в освоение производства МБР Р7 как на опытном заводе п/я 924, так и при освоении серийного производства на заводе «Прогресс» (г. Куйбышев).

Работы велись под руководством главного инженера НИТИ-40 Жустарева Евгения Николаевича, его замести-

теля Толпыго Георгия Антоновича и начальника отдела Купровича Валентина Павловича.

Специалисты института, сформированные в бригады по основным видам технологий, с выездом на предприятия совместно с работниками завода п/я 924, а затем и завода «Прогресс» разрабатывали технологии изготовления ракеты и отработывали новые технологические процессы.

Под руководством главного конструктора НИТИ-40 М.П. Ковалева проектировалось специальное технологическое оборудование и средства технологического оснащения.

Совместно с работниками ОКБ-1 и НИИ-13 (г. Ленинград) специалисты НИТИ-40 (под руководством кандидата технических наук В.П. Купровича) участвовали в создании прорывной методики контроля геометрических параметров (КГП) и юстировке ракет при постановке на производство ракеты Р7 на заводе п/я 924, которая заменила применявшуюся ранее немецкую технологию контроля ракет. Начиная с ракеты «ФАУ-2», для контроля геометрических параметров (КГП) и юстировки ракета ставилась вертикально, для чего в конце сборочного цеха сооружалась высотная часть, что помимо дополнительных затрат на строительство являлось демаскирующим фактором. Для тандемных ракет длиной до 20–22 м технологически это не представляло особой сложности. Для пакетных ракет подобных Р7 и значительными габаритами к КГП добавлялась операция по проверке стыкуемости боковых блоков, что затрудняло реализацию в вертикальном положении.

На ранней стадии подготовки производства ракеты Р7, не имея альтернативы существовавшей технологии КГП, в сборочном цехе завода п/я 924 построили высотную часть (45 м до подкрановых путей) и разработали сложную, непроверенную на практике технологию контроля.

Вновь созданная в сотрудничестве ОКБ-1, НИТИ-40 и НИИ-13 методика КГП, юстировки и проверки стыкуемости блоков в горизонтальном положении, коренным образом изменила и упростила эти операции контроля. Построенная высотная часть была исключена из производственного процесса и в настоящее время в ней расположен музей.

Содружество специалистов заводов, ОКБ-1 и НИТИ-40 обеспечили освоение производства МБР-7 в установленные сроки.



♦ ЮБИЛЕЙ ФКР



УДК 629.7

Коваленок В.В., Кузнецов В.И., Борденков В.В.

К 40-летию Федерации космонавтики России

5 декабря 2018 года исполняется 40 лет со дня образования Федерации космонавтики России (ФКР).

За прошедшие годы ФКР стала крупнейшей общественной российской организацией космической направленности, объединяющей в своих рядах свыше 300 региональных и местных организаций в 45 регионах и насчитывающей более трёхсот тысяч членов. В их числе работники предприятий, научно-исследовательских и испытательных организаций, конструкторских бюро, военнослужащие, ветераны ракетно-космической отрасли и Вооружённых Сил, студенты высших и средних учебных заведений, учащиеся школ, сотрудники музеев и планетариев. Центральный орган ФКР находится в Москве.

ФКР имеет организации и представительства в странах ближнего зарубежья (Белоруссия, Казахстан, Украина), а также в Германии (профессор Лоренц Хааг, который ведёт работу и с другими европейскими странами).

История создания в нашей стране организаций космической направленности уходит корнями в начало XX века, когда научный и практический интерес к реактивному движению и изучению космического пространства, наряду с работами К.Э. Циолковского, Ф.А. Цандера, Ю.В. Кондратюка, С.П. Королева и других учёных и инженеров, решающих общую задачу о необходимости освоения космоса, нашёл отражение в создании ряда научно-технических организаций, действующих, в основном, на общественных началах.

1 марта 1921 г. создана первая в России научно-исследовательская и опытно-конструкторская организация по ракетной технике, начавшая работу в Москве при военном ведомстве вначале как лаборатория для разработки изобретений Н.И. Тихомирова, а с 1928 г. как Газодинамическая лаборатория. 20 июня 1924 г. организовано «Обще-

ство изучения межпланетных сообщений». В 1931 г. – общественная организация при ОСОАВИАХИМ («Группа изучения реактивного движения») в Москве и Ленинграде, позднее в Харькове, Баку, Тифлисе, Архангельске, Новочеркасске, Брянске и других городах. В 1934 г. при ЦК ОСОАВИАХИМ СССР образовался «Стратосферный комитет», а в 1954 г. в составе ЦК ДОСААФ СССР при Центральном аэроклубе им. В.П. Чкалова – секция Астронавтики СССР.

15 декабря 1968 г. создан Всесоюзный комитет космонавтики ДОСААФ СССР.

5 декабря 1978 г. решением Бюро ЦК ДОСААФ СССР Всесоюзный комитет космонавтики ДОСААФ СССР преобразован в Федерацию космонавтики СССР (ФК СССР). Первым Председателем Федерации космонавтики СССР избран Анатолий Васильевич Филиппченко.

В Положении о Федерации космонавтики СССР определены важнейшие задачи общественной организации:

- пропаганда достижений и распространение знаний об освоении и использовании Советским Союзом космического пространства;
- содействие научно-исследовательским институтам и конструкторским бюро (НИИ и КБ) космического профиля в решении вопросов проектирования, создания и испытания ракетно-космической техники (РКТ);
- проведение мероприятий по объединению ветеранов и молодёжи ракетно-космической промышленности (РКП), оказание им социальной помощи;
- укрепление связей и активной работы ветеранов космонавтики с молодёжью, школьниками и студентами вузов;
- выпуск памятных и нагрудных знаков, в честь выдающихся деятелей космической науки и техники и награждение ими работников и ветеранов РКП;



Филипченко
Анатолий Васильевич
Председатель Федерации
космонавтики СССР
06.12.1978. – 25.12.1980



Рукавишников
Николай Николаевич
Председатель Федерации
космонавтики СССР
03.07.1981 – 07.12.1991;
Президент Федерации
космонавтики России
07.12.1991 – 20.03.1999



Титов
Герман Степанович
Президент Федерации
космонавтики России
20.03.1999 – 20.09.2000



Ковалёнок
Владимир Васильевич
Президент Федерации космо-
навтики России с 25.01.2001
по настоящее время

– защита интересов СССР в космонавтике на международных форумах и комиссиях международной авиационной федерации (ФАИ).

В настоящее время ФКР объединяет в своих рядах общественные организации космонавтики, созданные и осуществляющие свою деятельность на предприятиях и в организациях РКП, МО РФ, музеях и планетариях, образовательных учреждениях России, объединениях ветеранов и других общественных объединениях космической направленности. Представители ФКР ведут свою работу в восьми Федеральных округах из девяти. В ближайшее время будут созданы организации ФКР в Республике Крым и г. Севастополе. Активно работают организации Башкортостанского, Северо-Западного, Пермского, Красноярского, Чувашского региональных отделений и целый ряд местных отделений ФКР.

Мероприятия, проводимые ФКР, в последние годы претерпели значительные изменения, обогатились новым содержанием. Проводятся экскурсии на космодром Байконур, в центр управления полётами и центр подготовки космонавтов (ЦУП и ЦПК), научно-практические симпозиумы на борту теплоходов, встречи общественности регионов России с космонавтами, руководителями предприятий и организаций, ветеранами РКП, торжественные мероприятия, посвященные юбилейным и памятным датам отечественной космонавтики, выездные заседания Бюро и Президиума ФКР. Журнал «Вестник Федерации космонавтики России» издаётся в печатном и электронном вариантах, материалы о деятельности ФКР публикуются в журнале «Новости космонавтики» и других средствах массовой информации, поддерживается официальный сайт (www.fkrus.ru). Проводятся

конкурсы выпускных и дипломных работ среди студентов и курсантов вузов с присвоением победителям званий лауреатов премий имени К.Э. Циолковского, С.П. Королёва и М.К. Тихонравова. Представители ФКР принимают участие в научно-практических чтениях, посвящённых С.П. Королёву, Ю.А. Гагарину, К.Э. Циолковскому и М.Ф. Решетнёву. Также организуются конкурсы и викторины по космонавтике среди студентов и школьников, оказывается посильная помощь ветеранам РКП.

Значимым событием в деятельности ФКР явилась организация первого конкурса инновационных проектов студентов-старшекурсников и молодых специалистов, завершившегося проведением инновационно-медийного форума «Космос: взгляд в будущее», который прошёл в декабре 2017 г. с участием Госкорпорации «Роскосмос», АО «ОРКК», предприятий и организаций РКП, НИУ «МЭИ». Генеральным спонсором данного мероприятия выступило СПАО «Ингосстрах».

Для участия в конкурсе инновационных проектов приглашались студенты восьми университетов космической направленности и молодые специалисты 35-ти предприятий и организаций РКП. Огромный интерес вызвала выставка образцов космической техники, которую АО «ОРКК» организовало силами предприятий: ФГУП «НПО «Техномаш», АО «ИСС» имени академика М.Ф.Решетнёва, АО «НПО Лавочкина», АО «НПП «Звезда» имени академика Г.И. Северина».

Целями Конференции-форума «Космос: взгляд в будущее» являлись:

1. Общественная оценка ярких новаторских разработок студентов вузов и молодых специалистов РКП для опре-



деления возможностей их использования в космической деятельности и других отраслях промышленности России.

2. Привлечение внимания частного капитала – заинтересованных инвесторов и деловых людей России – к реализации проектов участников Ассоциации авторов инновационных проектов ФКР в космической деятельности России и других отраслях промышленности.

3. Повышение интереса студенчества и молодых специалистов РКП к участию в космической деятельности России. Развитие научно-технического творчества в среде учащихся всех форм образования, желающих учиться в вузах космической направленности и работать в РКП.

4. Привлечение авторов новаторских идей к решению программ импортозамещения в космической деятельности России.

5. Вступление авторов перспективных проектов в Ассоциацию авторов инновационных проектов ФКР, которая будет обучать молодых специалистов и студентов практике патентной работы, оформлению заявок для получения авторских свидетельств на изобретения, подготовкой необходимых материалов для реализации этих проектов на

предприятиях и в организациях РКП, в других отраслях промышленности путём привлечения частного капитала заинтересованных инвесторов и деловых людей России.

6. Популяризация новаторских предложений участников Ассоциации авторов инновационных проектов ФКР в производственной и общественной средах России.

В рамках работы форума проведены лекция-презентация «Основные требования к оформлению заявок на изобретения» (генеральный директор ООО «Патентный поверенный» Г.Н. Андрущак), Панельная дискуссия «Взгляд в будущее отечественной космонавтики» (директор Департамента инфраструктурных проектов Госкорпорации «Роскосмос» Д.А. Шишкин с участием космонавта-испытателя ПАО РКК «Энергия» М.В. Серова; лауреата Государственной премии, академика РАЕН, доктора биологических наук, старшего научного сотрудника Института биохимической физики Г.С. Нечитайло; ветерана космонавтики России, Заслуженного испытателя космической техники, руководителя группы подготовки персонала и анализа действий экипажа ГОГУ Центра управления полётами С.А. Бугровой), а также презентация деятельности



Госкорпорации «Роскосмос» по работе с молодёжью (директор Департамента развития персонала Госкорпорации «Роскосмос» Е.Б. Степанов) и СПАО «Ингосстрах» (начальник отдела страхования космической деятельности А.А. Шевченко).

После оглашения итогов работы Экспертной комиссии конкурса авторы инновационных проектов, признанных лучшими, провели их общественную презентацию.

Победителями конкурса стали:

- А.О. Дмитриев (АО «НПО Лавочкина»);
- А.С. Актёв (АО «НПК «СПП»);
- М.Г. Умнов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»);
- А.В. Сидоров, А.В. Чувилькин, А.С. Анисимова, Я.О. Можаровский (ГКНПЦ им. М.В. Хруничева);
- С.О. Пилюгин, В.Д. Позднякова, М.В. Смолев (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»);
- Р.И. Рудштейн (ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»);
- А.Е. Спирин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»);
- Е.Д. Аванесов (ЦЭНКИ);



- А.А. Зайцева, Д.В. Онищенко (ЦЭНКИ);
- В.Ю. Шепелёва (ФГУП «НПО «Техномаш»).

Все победители получили награды и призы конкурса.

В соответствии с решением Экспертной комиссии отмечено ещё 10 проектов, авторы которых также получили призы конкурса:

- К.Э. Тюпиков (АО «НПК «СПП»);
- С.А. Новичкова, М.А. Балыкин, Ю.В. Панин, Д.А. Кузьмичёв, А.А. Миронов, Я.А. Хмельницкий (АО «НПО Лавочкина»);
- А.Д. Юдин (АО «НПО Лавочкина»);
- А.А. Никитин (ПАО «РКК «Энергия»);
- А.Е. Спирин (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»);
- А.Б. Богданович (АО «Корпорация «МИТ»);
- А.О. Андреев (ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»);
- Н.Ю. Малахов (филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» – КБХМ им. А.М. Исаева);
- М.В. Салов (АО «Казанский Гипронеавиапром»);
- А.С. Киричек, О.В. Дворников, О.В. Прялухин (ПАО «РКК «Энергия»).



**ПОДНИМИ
ГОЛОВУ!!**

✦ ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ – 2018

- | | |
|--------------------|--|
| 12 апреля | — День космонавтики |
| 21 мая | — Международный день Космоса |
| 27 мая | — 80 лет со дня образования ФГУП «НПО «Техномаш» |
| 16 июня | — 55 лет со дня полёта в космос В.В. Терешковой – советского космонавта, первой в мире женщины-космонавта, Героя Советского Союза |
| 30 августа | — 100 лет со дня рождения Сергея Александровича Афанасьева – советского государственного деятеля, Министра общего машиностроения СССР, дважды Героя Социалистического Труда, Лауреата Ленинской премии |
| 24 сентября | — День машиностроителя |
| 4 октября | — День Космических войск |
| 20 ноября | — 20 лет Международной космической станции |
| 5 декабря | — 40 лет образования ФКР |



✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК

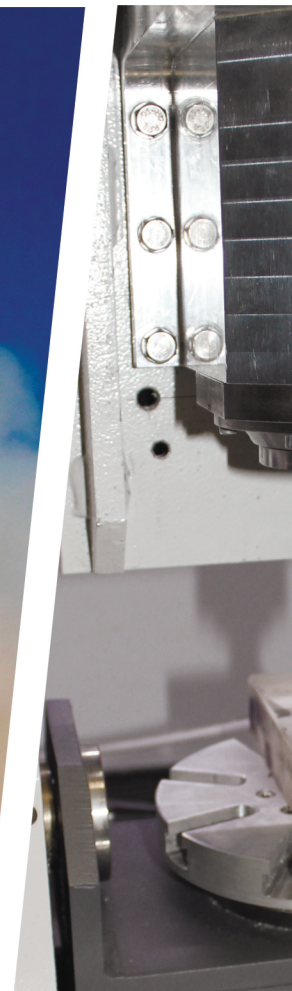


НПО ТЕХНОМАШ
1938—2018

✦ ДЛ Я ЗАМЕТОК



НПО ТЕХНОМАШ
1938 — 2018



**ПОДНИМИ
ГОЛОВУ!!**

ФГУП «НПО «ТЕХНОМАШ»
г. Москва
3-й проезд Марьиной Рощи, д.40
www.tmnpo.ru