

ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»

60 ЛЕТ ЦЕНТРУ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
РОСКОСМОС

Выпуск №2
2020

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»

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

И.о. генерального директора Ю.В. Власов
Первый заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе А.И. Кузин

Редакционная коллегия:

Д.А. Мургазин
И.С. Рубцов
О.Д. Бакланов
Г.Г. Райкунов
В.Г. Бещеков
Ю.М. Должанский
Т.В. Наумов
А.Ф. Орлова

Экспертная комиссия №1:

В.И. Кулик
К.Г. Данилова

Выпускающий редактор

Г.А. Аношкина
Научный редактор
М.А. Прусаков

Верстка и дизайн

М.Е. Боброва (обложка)

Номер свидетельства	ПИ № ТУ 50 - 02894
Дата регистрации	31.01.2020
Статус свидетельства	действующее
Наименование СМИ	Научно-технический журнал Вестник «НПО «Техномаш»
Форма распространения	печатное СМИ журнал
Территория распространения	г. Москва
Учредители	федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Техномаш»
Адрес редакции	127018, Москва г., проезд Марьиной Рощи 3-й, д. 40
Языки	русский

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.

♦ ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЯМ

Уважаемые коллеги!

Перед Вами второй номер научно-технического журнала «Вестник «НПО «Техномаш», который посвящается 60-летию Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина.

История ЦПК имени Ю.А. Гагарина неразрывно связана с рождением и развитием отечественной пилотируемой космонавтики. За 60 лет в ЦПК создана уникальная система подготовки космонавтов к полету, построена современная экспериментально-испытательная и тренажерная базы. Накоплен огромный практический опыт проведения испытательной и научно-исследовательской деятельности, который позволил ЦПК обеспечить высокий профессиональный уровень подготовки космонавтов и беспрецедентные показатели безопасности пилотируемых космических полетов.

На базе ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» ежегодно проводится Молодёжная конференция «Новые материалы и технологии в ракетно-космической, авиационной и других ведущих высокотехнологичных отраслях промышленности». Участникам и гостям предлагается интересная демонстрационно-образовательная программа, включающая посещение тренажёров для космонавтов, молодёжного образовательного Космоцентра, Музея космонавтики в Звёздном городке, Центрального музея Военно-воздушных сил Российской Федерации. Каждый желающий может прикоснуться к истории пилотируемой космонавтики и своими глазами увидеть практическое воплощение мечты Константина Циолковского и упорного многолетнего труда великого конструктора Сергея Королёва, с которых началась космическая эра.

Наш научно-технический журнал открыт для читателей и авторов из организаций ракетно-космической промышленности и профильных вузов страны. На его страницах авторы продолжают дискутировать на актуальные отраслевые темы, обсуждать проблемы разработки и внедрения новых производственных технологий и оборудования, обмениваться опытом и мнениями.

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



Ю.В. Власов



СОДЕРЖАНИЕ

✦ ЦЕНТРУ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ ИМЕНИ Ю.А. ГАГАРИНА – 60 ЛЕТ	3
✦ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ	
<i>Вайцехович С.М., Власов Ю.В., Должанский Ю.М., Журавлёв А.Ю., Илингина А.В., Кочергин С.А., Кулик В.И.</i> Разработка инструмента для фрикционной сварки трением с перемешиванием	14
✦ СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП	
<i>Кондратенко А.Н.</i> Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности	21
<i>Рахмилевич Е.Г., Каргапольцев Д.М.</i> Цифровой двойник производственной системы	33
✦ ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ	
<i>Должанский Ю.М., Илингина А.В., Корнилов В.А., Камалдинов А.М., Франц М.В., Хруцкая М.В.</i> Информационные электронные паспорта на технологии и специальное оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2019 году (продолжение)	44
✦ СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ	
<i>Круглов И.А., Рябчиков П.В.</i> Научно-техническое сопровождение при изготовлении и испытаниях второго летного изделия РН «Ангара-А5»	53
<i>Рябчиков П.В., Дорохин Ю.Н.</i> Особенности термообработки стали 30ХГСА и аспекты ее воздействия на изделия	55

CONTENT

✦ YU.A. GAGARIN RESERCH AND TEST COSMONAUT TRAINING CENTER – 60 YEARS OLD	3
✦ WELDING AND SOLDERING TECHNOLOGIES	
<i>Vaytsehovich S.M., Vlasov Yu.V., Dozhansky Yu.M. Zhuravlev A.Y., Ilingina A.V., Kochergin S.A., Kulik V.I.</i> Development of Friction Stir Welding Tool	14
✦ MODERN REQUIREMENTS AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF ENTERPRISES OF THE RCP	
<i>Kondratenko A.N.</i> The Condition Estimation and Priority Development Fields of the Aerospace industry	21
<i>Rakhmievich E.G., Kargapolcev D.M.</i> A digital twin of the production system	33
✦ ELECTRONIC PASSPORTIZATION	
<i>Dolzanskiy Y.M., Ilingina A.V., Kornilov V.A., Kamaldinov A.M., Franz M.V., Hrutsкая M.V.</i> Electronic Informational Data Sheets on Technologies and Special Equipment Developed by FSUE «NPO «Technomash» in 2019 (Continued)	44
✦ STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND METROLOGY	
<i>Kruglov I.A., Ryabchikov P.V.</i> Research and Development Support During Manufacturing and Testing of the Second Flight Article of the «Angara-A5» Launch Vehicle	53
<i>Ryabchikov P.V., Dorokhin Y.N.</i> Heat Treatment Features of 30HGSA Steel and Its Influence Aspects on Articles	55

УДК 629.78

Центру подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина – 60 лет

Yu.A. Gagarin Reserch and Test Cosmonaut Training Center – 60 years old

Развитие науки и техники в нашей стране позволило к концу 50-х годов всерьез рассмотреть вопрос о полете человека в космос. В начале 1959 года у президента Академии наук СССР М.В. Келдыша состоялось совещание, на котором вопрос о полете человека в космос обсуждался конкретно, вплоть до того: «Кому лететь?». В январе и мае 1959 года опубликованы Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О подготовке человека к космическим полетам».

По мнению С.П. Королева, для полета в космос больше подходили летчики реактивной истребительной авиации. В процессе первого

отбора кандидатов в космонавты рассматривались документы на 3461 летчика истребительной авиации в возрасте до 35 лет. В дальнейшем лишь 20 человек отобраны и зачислены первыми слушателями-космонавтами (рис. 1).

Для решения поставленной задачи – полет человека в космос – было необходимо создание специального Центра подготовки космонавтов. 11 января 1960 года приказом Главнокомандующего ВВС К.А. Вершинина организована специальная воинская часть 26266, в задачу которой вменялась подготовка космонавтов. Впоследствии эта часть преобразована в Центр подготовки



Рис. 1. Первый отряд советских космонавтов

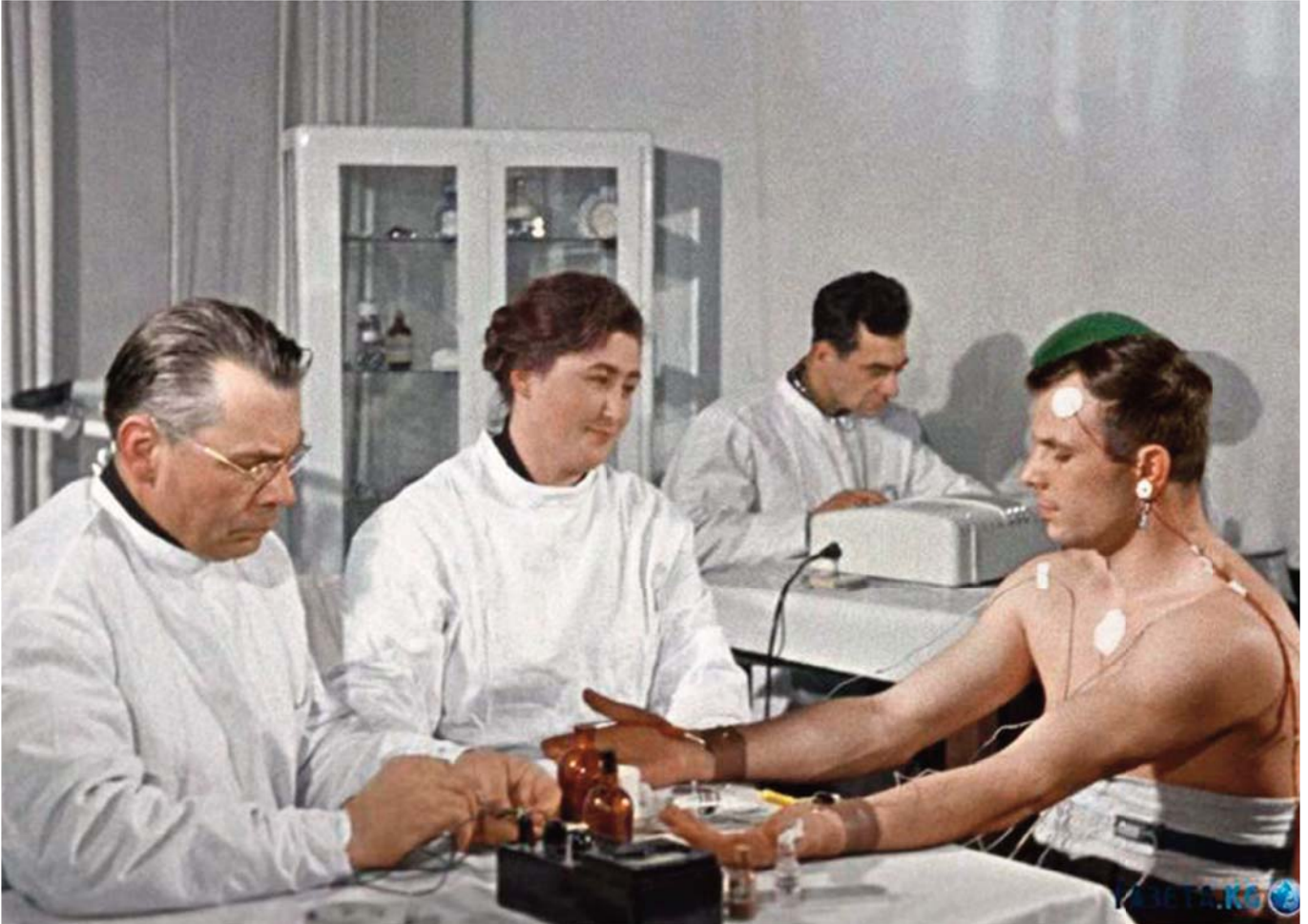


Рис. 2. Экзамен на готовность к полету

космонавтов ВВС. Первым начальником Центра подготовки космонавтов (ЦПК) назначен полковник медицинской службы Евгений Анатольевич Карпов, видный специалист в области авиационной медицины.

В марте 1960 года первая группа кандидатов на космический полет приступила к занятиям на территории спортивной базы ЦСКА, расположенной недалеко от Института авиационной медицины. В 1960 году отряд переехал в Звёздный городок (тогда – Зелёный), где космонавты продолжили начатую в Москве подготовку в специально построенном и оборудованном всем необходимым Центре подготовки космонавтов.

17 и 18 января 1961 года первая группа из шести космонавтов (Ю.А. Гагарин, Г.С. Титов, Г.Г. Нелюбов, А.Г. Николаев, П.Р. Попович, В.Ф. Быковский) сдала экзамены на готовность к полету на космическом корабле «Восток» (рис. 2).

12 апреля 1961 года в 9:07 (по московскому времени) состоялся старт первого в мире пилотируемого космического корабля, возвестившего всему миру о начале новой космической эры человечества. Пилотировал корабль «Восток-1» Гагарин Юрий Алексеевич.

В 1961–1963 годах подготовка космонавтов и полеты осуществлялись на кораблях «Восток». Первый суточный полет Г.С. Титова выполнен 6–7 августа 1961 года. В августе 1962 года осуществили свой групповой полет космонавты А.Г. Николаев (11–15 августа 1962 года) и П.Р. Попович (12–15 августа 1962 года).

Вопрос о полете женщины в космос поднялся в декабре 1961 года, и уже в январе 1962-го из 58 женщин, изъявивших желание участвовать в космических программах, отобрали 23 кандидата для направления на медицинскую комиссию. В результате окончательного отбора в марте 1962 года



Рис. 3. Космонавт В.В. Терешкова

сформировалась группа женщин-кандидатов в космонавты из шести человек. В мае 1963 года их подготовка завершилась, и 4 июня 1963 года Государственная комиссия определила командиров и их дублеров для полета на космических кораблях «Восток-5» и «Восток-6». Ими стали: В.Ф. Быковский – командир, Б.В. Волинов – дублер и В.В. Терешкова – командир и ее дублеры – И.Б. Соловьева и В.Л. Пономарева.

Полеты на кораблях «Восток» дали ответы на принципиальные вопросы – человек в космосе может жить и работать. Была подтверждена верность конструктивных и технологических решений создателей космической техники, получен первый уникальный опыт подготовки космонавтов. Вскоре начался этап подготовки и полетов на многоместных космических кораблях «Восход».

По этой программе выполнено два полета. Первый полет (12–13 октября 1964 года) на космическом корабле «Восход» осуществил экипаж в составе: командира В.М. Комарова, бортинженера К.П. Феоктистова и врача Б.Б. Егорова (дуб-

лирующий экипаж – Б.В. Волинов, Г.П. Катус, В.Г. Лазарев). В результате полета открыты новые перспективы развития космонавтики.

Во время второго полета на корабле «Восход-2», пилотируемом космонавтами П.И. Беляевым и А.А. Леоновым, 18 марта 1965 года впервые в мире осуществлен выход человека (А.А. Леонов) в открытое космическое пространство (рис. 4).

В 1962 году начался отбор новой группы кандидатов в космонавты, и в 1963 году отряд пополнился второй группой кандидатов из 15 человек.

В 1965 году Центр подготовки космонавтов ВВС переименован в Центр подготовки космонавтов (ЦПК), что придало ему новый межведомственный статус. Расширились и возложенные на ЦПК задачи. Так, с 1966 года началась подготовка группы космонавтов по программе нового космического корабля «Союз», а в последующие годы – орбитальных станций «Салют». Начался новый этап развития пилотируемой космонавтики.



Рис. 4. Космонавт А.А. Леонов в открытом космосе



Рис. 5. Космонавт В.М. Комаров

В 1966 году начались летно-конструкторские испытания космического корабля «Союз» («Космос-133») без человека на борту, а в апреле 1967 года состоялся первый пилотируемый полет космического корабля «Союз-1». К сожалению, его полет завершился трагически. Командир корабля летчик-космонавт СССР, Герой Советского Союза Владимир Михайлович Комаров (рис. 5) погиб при возвращении на Землю.

С 1966 по 1968 годы осуществлялась подготовка группы космонавтов для выполнения длительного космического полета (до 10 суток) на корабле типа «Восход». В те годы создана группа космонавтов по программе авиационно-космической системы «Спираль». Полеты на таком корабле требовали соответствующей квалификации космонавтов в качестве летчика-испытателя. В целях приобретения необходимого опыта космонавты проходили соответствующую подготовку и выполняли испытательные полеты на самолетах на базе 8-го Государственного научно-испытательного



Рис. 6. Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина

института ВВС. В связи с принятым решением о прекращении работ по этим программам космонавты включены в группы для подготовки к полетам по программам космических кораблей «Союз» и «Союз-ВИ», орбитальных станций «Салют» и «Алмаз».

27 марта 1968 года произошло трагическое событие. Из учебного полета на аэродром не вернулся самолет УТИ МиГ-15, бортовой номер – «18». Его пилотировал экипаж в составе летчика-космонавта СССР космонавта №1, Героя Советского Союза полковника Юрия Алексеевича Гагарина и полковника Владимира Сергеевича Серегина.

30 апреля 1968 года в целях увековечивания памяти космонавта №1 Центру подготовки космонавтов присвоено имя Ю.А. Гагарина.

В 1968–1969 годах выполнены полеты пилотируемых космических кораблей «Союз-3» (командир Г.Т. Береговой), «Союз-4» и «Союз-5», «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8». В январе

1969 года впервые в мире на орбите создана пилотируемая космическая станция из двух состыкованных кораблей «Союз-4» (командир В.А. Шаталов) и «Союз-5» (командир Б.В. Волинов, бортинженер А.С. Елисеев и космонавт-исследователь Е.В. Хрунов) (рис. 7). После стыковки космонавты А.С. Елисеев и Е.В. Хрунов перешли через открытый космос из корабля «Союз-5» в корабль «Союз-4».

В 1966–1971 годах одновременно с подготовкой космонавтов и выполнением космических полетов по программе «Союз» ЦПК проводил большую работу по другим космическим программам.

В 1968–1969 годах созданы группы космонавтов для подготовки к полетам по программам:

- облет Луны и посадка на Луну (Л-1 и Л-3);
- орбитальных кораблей «Союз»;
- орбитальных кораблей «Союз-ВИ»;
- орбитальной станции «Алмаз».



Рис. 7. Е.В. Хрунов, А.С. Елисеев, В.А. Шаталов и Б.В. Волинов за день до полета

В зависимости от состояния работ по соответствующим программам и принимаемых решениях ряд из них (Л-1, Л-3, «Союз-ВК» и др.) впоследствии закрыт. В дальнейшем подготовка космонавтов и космические полеты выполнялись по двум основным программам «Союз» – «Салют» и «Алмаз».

За высокие достижения в деле освоения космического пространства в 1969 году ЦПК награжден орденом Ленина.

По мере развития космических кораблей и орбитальных комплексов совершенствовалась система подготовки космонавтов, изменялся статус Центра. В 1969 году ЦПК присвоен статус научно-исследовательского испытательного института. В 1970 и 1972 годах в ходе реорганизации ЦПК в его состав включен Музей космонавтики. Реформа коснулась и отряда космонавтов. В 1974 году отряд слушателей-космонавтов переведен в состав одного из управлений, а в 1975 году в составе основных подразделений ЦПК создан отряд космонавтов,

в который вошли космонавты из отделов 1-го управления, а также отряд слушателей-космонавтов. На тот момент отряд космонавтов включал:

- группы орбитальных кораблей и станций;
- группу международных космических программ;
- группу авиационно-космических средств;
- группу слушателей-космонавтов.

В 1982 году восстановлена должность командира отряда космонавтов, которая ранее совмещалась с должностью заместителя начальника Центра по летной и космической подготовке, и в отряде космонавтов созданы группы:

- орбитальных пилотируемых комплексов общего назначения;
- многоразовых космических систем общего и специального назначения;
- международных космических программ;
- космонавтов-исследователей;
- управления деятельностью экипажей ПКА в полете.



Рис. 8. Г.Т. Добровольский, В.Н. Волков, В.И. Пацаев

В 1971 году создана и выведена на орбиту космическая станция «Салют». Подготовка к выполнению полетов на этой станции началась в 1970-м. В первую группу космонавтов вошли: В.А. Шаталов, А.С. Елисеев, Н.Н. Рукавишников, А.А. Леонов, В.Н. Кубасов, П.И. Колодин, Г.Т. Добровольский, В.Н. Волков, В.И. Пацаев, А.В. Филипченко и другие. В июне 1971 года успешно выполнил полет на борту комплекса «Салют-1» – «Союз-11» экипаж в составе: Г.Т. Добровольского, В.Н. Волкова и В.И. Пацаева. При возвращении на Землю из-за разгерметизации спускаемого аппарата экипаж трагически погиб.

С 1974 года начались полеты по программе «Алмаз» («Салют-3»). Первую экспедицию на станцию «Салют-3» выполнил экипаж в составе командира П.Р. Поповича и бортинженера Ю.П. Артюхина.

Первые шаги в направлении международного сотрудничества в пилотируемой космонавтике сделаны в июле 1975 года, когда состоялся полет

по программе «ЭПАС». Была проведена стыковка советского космического корабля «Союз» (командир А.А. Леонов, бортинженер В.Н. Кубасов) и американского корабля «Аполлон» (рис. 9). На орбите образовался первый космический международный комплекс.

С 1978 года ЦПК осуществляет активную деятельность в области пилотируемых международных программ. За это время подготовлены и осуществлены полеты 25-ти международных экипажей. Среди космонавтов, прошедших подготовку в Центре, – представители Чехословакии, Польши, Германии, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Кубы, Монголии, Румынии, Франции, Индии, Сирии, Афганистана, Японии, Англии, Австрии, США, Швеции, Испании.

С 1974 года по 1986 год осуществлялась модернизация орбитальной станции «Салют» и космического корабля «Союз». Испытания «Союз-Т» – провели космонавты Ю.В. Мальшев и В.В. Аксенов, «Союз-ТМ» – Ю.В. Романенко и А.И. Лавейкин.



Рис. 9. 40 лет стыковке «Союз-Аполлон»

В феврале 1986 года осуществлен вывод на орбиту орбитальной станции третьего поколения «Мир». Наличие на станции шести стыковочных узлов, к которым могли стыковаться транспортные корабли, в том числе многоэтажный американский корабль «Спейс Шаттл» и целевые модули, позволило значительно расширить круг решаемых на ней задач и увеличить объем научно-исследовательских работ. Экипажи советских, российских и международных экспедиций выполнили значительный объем космических исследований и экспериментов в области астрофизики, медицины, дистанционного зондирования Земли, материаловедения и технологии. Данный период характеризовался высокой научной и организационной активностью развития пилотируемой космонавтики в целом, и подготовки космонавтов в частности. Так, в 1990 году для участия в программе пилотируемых полетов представителей средств массовой информации проведен отбор кандидатов в космонавты на конкурсной основе. В 1990–1992 годах с груп-

пой журналистов в составе А.В. Андриюшкова, В.В. Бабердина, Ю.Ю. Крикуна, П.П. Мухортова, С.О. Омельченко, В.Ю. Шарова проведена общекосмическая подготовка.

Одновременно, наряду с решением задач по подготовке космонавтов для выполнения полетов на орбитальных пилотируемых кораблях и станциях, ЦПК совместно с другими министерствами и ведомствами проводил большую работу по отбору и подготовке космонавтов для осуществления полетов на многоэтажном орбитальном корабле «Буран». Во исполнение решения руководства страны по обеспечению летных испытаний «Бурана» принято совместное решение ряда министерств о создании группы из числа летчиков-испытателей от МАП и МО СССР и проведении с ними общекосмической подготовки. В эту группу вошли летчики-испытатели МАП – И.П. Волк, А.С. Левченко, А.В. Щукин, Р.А.А. Станкявичус, О.Г. Кононенко и летчики-испытатели МО СССР – И.И. Бачурин, В.М. Чиркин, А.С. Бородай, В.Е. Мосолов, А.М. Соковых и Н.Ш. Саттаров (рис. 10). С

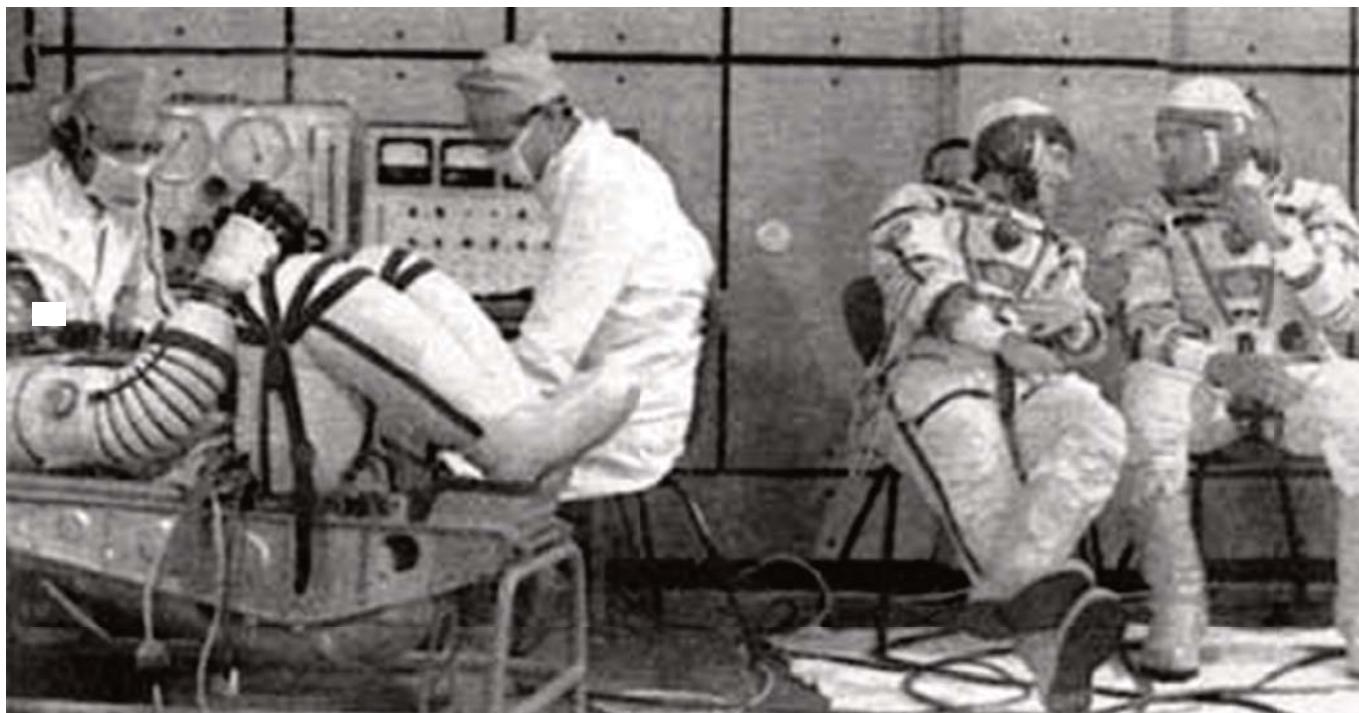


Рис. 10. Летчики-испытатели

марта 1979 года по декабрь 1980-го с группой проведена общекосмическая подготовка.

В целях приобретения опыта космического полета в 1984 году И.П. Волк в составе экипажа «Союз Т-12» выполнил полет на орбитальную станцию «Салют-7». В 1987 году А.С. Левченко совершил полет на корабле «Союз ТМ-4» на орбитальную станцию «Мир».

В 1985–1987 годах проведена общекосмическая подготовка еще одной группы летчиков-испытателей Летно-исследовательского института МАИ и Государственного научно-испытательного института ВВС в составе В.М. Афанасьева, А.П. Арцебарского, Г.М. Манакова, В.В. Заболотского, У.Н. Султанова, М.О. Толбоева, С.Н. Третьяковского, Ю.П. Шеффера.



Рис. 11. Ю. Гидзенко, У. Шеперд, С. Крикалев на борту МКС

15 ноября 1988 года осуществлен первый полет орбитального корабля «Буран» в беспилотном варианте. В дальнейшем работы по ракетно-космической транспортной системе «Энергия» – «Буран» были закрыты.

В 1982 году ЦПК награжден орденом Дружбы народов.

С 1995 года статус ЦПК вновь изменился.

В целях повышения эффективности использования научно-технического потенциала Российской Федерации в области пилотируемых космических полетов и подготовки космонавтов для обеспечения выполнения Федеральной космической программы и международных обязательств России постановлением Правительства Российской Федерации от 15 мая 1995 года № 478 на базе 1-го Научно-исследовательского испытательного центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина и 70-го отдельного испытательно-тренировочного авиационного полка особого назначения имени В.С. Серегина создан

Российский государственный научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (РГНИИЦПК). Центр находился в ведении Министерства обороны Российской Федерации и Российского космического агентства.

В тот период РГНИИЦПК продолжал подготовку космонавтов по программе орбитального комплекса «Мир». Ежегодно в среднем проходили подготовку 12 экипажей основных экспедиций. Кроме того, совместно с НАСА (США) выполнялись космические программы «Мир-НАСА», «Мир-Шаттл». Развивалось сотрудничество с европейскими странами, космонавты которых проходили подготовку и осуществляли космические полеты на орбитальную станцию «Мир».

С 1996 года начала складываться основная кооперация стран-участников создания Международной космической станции (МКС), которая изначально получила название «Альфа». В рамках



Рис. 12. Герой Российской Федерации, заслуженный летчик-испытатель Российской Федерации П.Н. Власов

программы РГНИИЦПК отводилась ведущая роль в подготовке международных экипажей для осуществления полетов по разворачиванию и эксплуатации МКС. Первый международный экипаж (рис. 11) по программе основной экспедиции МКС-1 в составе У. Шеперда (США), Ю. Гидзенко и С. Крикалёва (оба из России) стартовал 31 октября 2000 года. Одновременно в Центре прошла модернизация имеющаяся и создана новая тренажная база для подготовки экипажей МКС – специализированные и комплексные тренажеры, стенды, учебные классы.

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 октября 2008 года № 1435-р в ведении Федерального космического агентства создано федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

и с 1 июля 2009 года ликвидирован РГНИИЦПК.

В связи с решением международных партнеров об увеличении с 2009 года членов экипажа МКС с трёх до шести человек существенно возрос объем работ по обеспечению и проведению подготовки российских и иностранных космонавтов (астронавтов). Во второй половине 2009 года в Центре проходили подготовку к выполнению космических полетов на транспортном пилотируемом корабле (ТПК) «Союз ТМА» и по программе основных экспедиций МКС 16 экипажей, в состав которых входили 17 российских космонавтов, 12 астронавтов НАСА (США), два астронавта Европейского космического агентства (ЕКА) и четыре астронавта ДжАКСА (Япония).

7 декабря 2010 года в целях повышения эффективности отбора и подготовки космонавтов и обеспечения скоординированной государственной политики в области пилотируемых космических полетов руководителем Роскосмоса А.Н. Перминовым издан приказ № 197 «О создании единого отряда космонавтов Федерального космического агентства». Согласно приказу с 1 января 2011 года создан единый отряд космонавтов Роскосмоса на базе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

С ноября 2017 года по настоящее время начальником ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» является Герой Российской Федерации, заслуженный летчик-испытатель Российской Федерации Власов Павел Николаевич (рис. 12).

2020 год – юбилейный для Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина, который ассоциируется с современными технологиями, эффективными программами подготовки космонавтов астронавтов и тайконавтов, профессионализмом специалистов высочайшего уровня. Всё это стало возможным благодаря таланту, труду и самоотверженности людей, которые стояли у истоков образования ЦПК и работают здесь в настоящее время.

◆ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

УДК 621.791.14

*Вайцехович С.М., Власов Ю.В., Должанский Ю.М.,
Журавлёв А.Ю., Илингина А.В., Кочергин С.А., Кулик В.И.*

Разработка инструмента для фрикционной сварки трением с перемешиванием

Рассмотрено состояние современного сварочного инструмента с точки зрения конструктивного влияния на качество сварочных работ. Предложен вариант инструмента для сварки трением с перемешиванием листовых заготовок, позволяющий повысить качество сварных соединений при сварке листовых заготовок с локальной разнотолщиной.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, сварка листовых заготовок, разнотолщина листовых заготовок, качество сварки.

*Vaytsehovich S.M., Vlasov Yu.V., Dozhansky Yu.M.
Zhuravlev A.Y., Ilingina A.V., Kochergin S.A., Kulik V.I.*

Development of Friction Stir Welding Tool

The condition of modern welding tool in terms of structural influence on weld quality is considered. A configuration of friction stir welding (FSW) tool for blank sheet welding which enables to improve weld quality during blank sheet welding with local gage interference is proposed.

Keywords: friction stir welding, blank sheet welding, gage interference of blank sheets, weld quality.

Введение

Технология сварки трением с перемешиванием (СТП) – один из вариантов технологий фрикционной сварки, разработанный Британским институтом сварки (TWI) [1] и являющийся сегодня одним из передовых и перспективных способов формирования неразъемных соединений конструктивных элементов, прежде всего, из листовых заготовок (рис. 1).

При СТП соединение свариваемых стыков металлов происходит практически в их полутвёрдом состоянии, при этом используется инструмент, конструктивно состоящий из перемещающегося в направлении сварки цилиндрического корпуса с рас-

положенным в нём наконечником специальной формы, вращение которого пластифицирует материал свариваемых кромок и формирует сварной шов.

Основными параметрами процесса СТП являются: размеры и профиль рабочей части инструмента, частота вращения наконечника, скорость и усилие перемещения в направлении сварки инструмента. Специфической особенностью сварки является асимметричность структуры швов в поперечном сечении сварных соединений вследствие, с одной стороны, утолщения (наслоение волны) расплавленного металла в местах совпадения с направлением сварки,

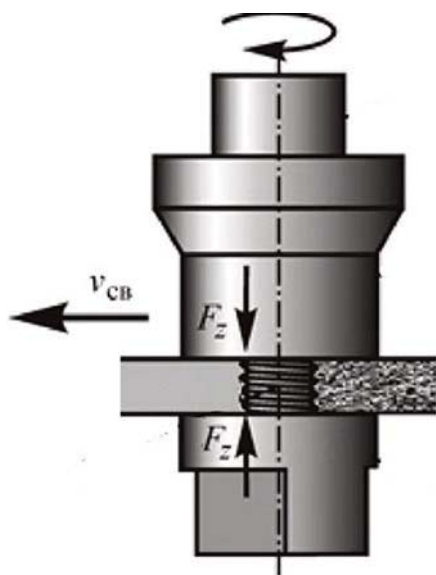


Рис. 1. Схема традиционного инструмента для СТП листовых заготовок

с другой – утонения металла с противоположной стороны в местах отрыва волны.

Опыт использования технологии СТП показал, что известные сегодня инструменты для фрикционной сварки с перемешиванием не всегда обеспечивают требуемое качество сварного соединения.

Например, инструмент для сварки трением с перемешиванием, содержащий установленный в корпусе с возможностью вращения зонд, снабженный полостью соосной его оси вращения, выполненный с заплечиком, обеспечивает вращение зонда и стержня с разной скоростью [2]. Недостатком инструмента является пониженное распределение

тепловой мощности (тепловложения) в центральной части зонда, что снижает качество сварного шва. Другой пример: известен также инструмент для фрикционной сварки листовых конструкций, содержащий утолщенную область в виде двух заплечиков или буртов, расположенных напротив друг друга, и соединяющую их перемычку в виде стержня, выполненного с различным по форме рельефом поверхности, в котором расстояние между заплечиками равно толщине кромок свариваемых заготовок [3]. Недостаток инструмента в том, что на периферии заплечиков при локальных утолщениях свариваемых кромок листовой заготовки возникает «волна», сформированная разогретым металлом в зоне сварки, которая тормозит движение инструмента в направлении сварки и может приводить к снижению качества сварного шва.

Соответствующая ситуация складывается при сварке листовых заготовок, толщина которых может локально отличаться от номинальной, прежде всего, превышая номинал. В подобных случаях, набегая на утолщенный участок, инструмент, во-первых, требует увеличения усилия подачи в направлении своего движения или замедляет это продвижение, что может приводить к избыточному разогреву свариваемых кромок и формированию и перемещению в направлении сварки своего рода волны разогретого металла, что в конечном итоге не может не сказаться на качестве и свойствах свариваемых стыков.

Разработка инструмента для сварки трением

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработан инструмент для фрикционной сварки [4], конструкция которого обеспечивает качество сварных швов за счет нивелирования влияния отклонений по толщине свариваемых заготовок с сохранением параметров процесса сварки и регламентированной площади контакта рабочей поверхности инструмента.

Новым в предлагаемом инструменте является то, что на нижней части корпуса предусмотрен

специальный кольцевой буртик, рабочая поверхность которого выполнена с заходной частью, позволяющей практически полностью исключить влияние неровностей поверхностей заготовок на плотность контакта плоской части рабочей поверхности вращающегося инструмента с поверхностью заготовок в процессе сварки. При этом практически полностью сохраняется площадь плоской центральной части рабочей поверхности инструмента, что обеспечивает

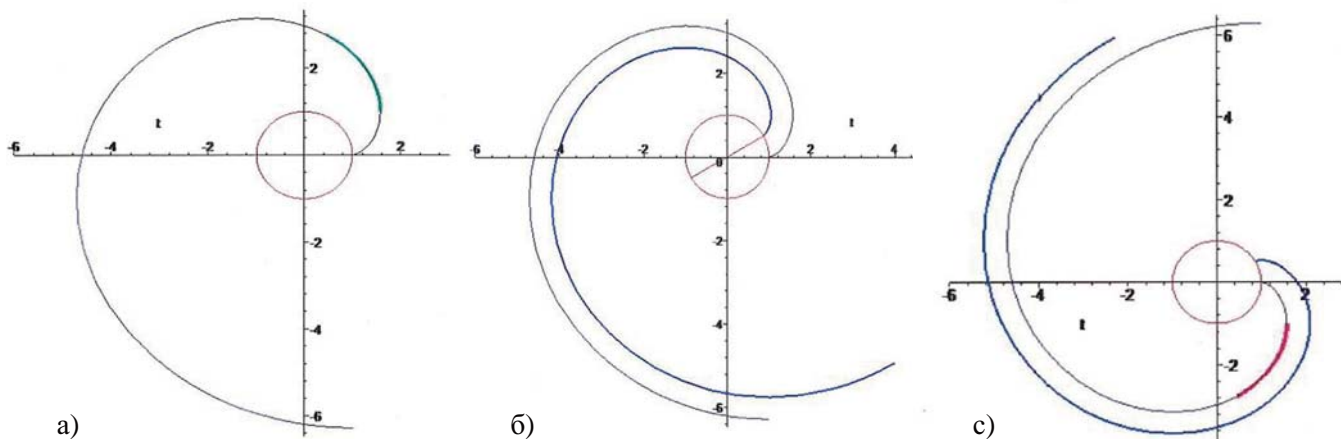


Рис. 2. Построение графиков эвольвенты по углу φ , диапазона от 0 до 2π при радиусе окружности

$$r_b = \frac{D}{2} = 1 = OB : \text{а – расчётная часть эвольвенты, ограниченная углами } \varphi \text{ от } \frac{\pi}{2} \text{ до } \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}\right)$$

(выделено жирно); б – графики исходной эвольвенты (внешняя тонкая линия) и повернутой на угол

$\alpha = \frac{\pi}{6}$ при $r_b = 1$ (выделено жирно); в – график поворота эвольвенты на угол α , против часовой стрелки

требуемую скорость разогрева металла заготовок в зоне сварки и получение достаточного количества пластифицированного материала для формирования сварного шва высокого качества.

Предложенный инструмент содержит «штатный» корпус цилиндрической формы диаметром «D», на нижнем (понятия «верхний» и «нижний» следует трактовать исключительно как «в плоскости чертежа») торце которого образована дополнительная рабочая поверхность в виде кольцевого буртика.

В зависимости от свариваемого материала (стали, алюминиевые сплавы и т.д.) и толщины свариваемых заготовок заходная часть рабочей поверхности буртика выполняется скошенной в виде фаски, образованной радиусной поверхностью или частью эвольвенты левого или правого построения (рис. 2).

В процессе работы инструмента «заходная» часть буртика, набегая на участки локального утолщения поверхности заготовок, разогревает и «выглаживает» их за счёт геометрии буртика и контакта практически по всей площади рабочей поверхности инструмента.

Как показали первые опыты использования предлагаемого инструмента, диаметр буртика

должен составлять порядка $(D+2s)$, где D – диаметр основного цилиндра инструмента и s – толщина свариваемых листовых заготовок.

Исходное уравнение эвольвенты имеет вид (рис. 2):

$$\begin{cases} x(r_b, \varphi) = r_b (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y(r_b, \varphi) = r_b (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \end{cases} \quad (1)$$

где $r_b = \frac{D}{2}$ – радиус окружности, φ – угол поворота радиуса OB против часовой стрелки от оси Ox .

При построении графиков (рис. 2) угол φ изменяли от 0 до 2π , радиус окружности $r_b = 9$.

Уравнение окружности при $r_b = 1$:

$$\begin{cases} x = \cos \varphi \\ y = \sin \varphi \end{cases}, \text{ при } \varphi = 0..2\pi \quad (2)$$

Уравнение эвольвенты с исходной точкой с координатами $[r_b, 0]$ (рис. 2 в – тонкая линия) (случай $r_b = 1$):

$$\begin{cases} x(r_b, \varphi) = r_b (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y(r_b) = r_b (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \end{cases}, \text{ при } \varphi = 0..2\pi \quad (3)$$

Уравнение части эвольвенты с исходной точкой с координатами $[r_b, 0]$ (рис. 2 в – толстая линия) (случай $r_b = 1$):

$$\begin{cases} x(r_b, \varphi) = r_b (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y(r_b) = r_b (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \end{cases}, \text{ при } \varphi = \frac{\pi}{2} \dots \frac{5\pi}{6} \quad (4)$$

Таким образом, если угол φ изменять от $\frac{\pi}{2}$ до $\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}\right)$, получим часть эвольвенты, показанной на графике (рис. 2а – утолщённая линия). Для осуществления поворота эвольвенты на угол α , против часовой стрелки уравнение экспоненты можно записать в следующем виде (фиг. 2 б):

$$\begin{cases} x = r_b^2 \cos \alpha (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) - r_b \sin \alpha (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \\ y = r_b^2 \sin \alpha (\sin \varphi + \varphi \cos \varphi) + r_b \cos \alpha (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \end{cases} \quad (5)$$

Графики исходной эвольвенты (рис. 2б – тонкая линия) и повернутой на угол $\alpha = \frac{\pi}{6}$ (рис. 2б – толстая линия, случай $r_b = 1$), рассчитываются аналогично уравнению части эвольвенты:

$$\begin{cases} x\left(r_b, \varphi, \alpha = \frac{\pi}{6}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2} (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) - \frac{1}{2} (\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) \\ y\left(r_b, \varphi, \alpha = \frac{\pi}{6}\right) = \frac{1}{2} \left(\cos \varphi + \frac{1}{2} \varphi \cos \varphi\right) + \frac{1}{2} \left(\sin \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} \varphi \cos \varphi\right) \end{cases} \quad (6)$$

В случае, когда $\varphi = 2\pi$, и $\alpha = \frac{\pi}{6}$ – график распределения эвольвенты проходит по толстой линии; в случае, когда $\varphi = \frac{\pi}{2} \dots \frac{5\pi}{6}$ – график распределения эвольвенты проходит по тонкой линии (рис. 2 б).

Изготовление буртика по заданной эвольвенте в инструменте для сварки трением выполняется с помощью шаблона (трафарета), который получают путём разделения окружности, например, на 12 и более частей (рис. 3).

Ширина заплечиков не должна превышать толщины полосы (s) и окаймляется наиболее сглаженной её частью эвольвенты для данного конкретного случая.

Для моделирования формы рабочей поверхности заплечиков «заходного» буртика используются уравнения эвольвенты в параметрическом виде:

$$\begin{aligned} B_7 &= \begin{cases} x_{B_7} = r_b (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y_{B_7} = r_b (\sin \varphi + \varphi \cos \varphi) \end{cases} \\ B_8 &= \begin{cases} x_{B_8} = r_b (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y_{B_8} = r_b (\sin \varphi + \varphi \cos \varphi) \end{cases} \\ B_9 &= \begin{cases} x_{B_9} = r_b (\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) \\ y_{B_9} = r_b (\sin \varphi + \varphi \cos \varphi) \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

где $r_b = \frac{D}{2}$ – радиус основной окружности; φ_{B_i} – угол поворота прямой на позиции B_7, B_8, B_9 (рис. 3).

Заданная точка отрезка эвольвенты, например, B_8B_7 (рис. 4), является продолжением рабочей наружного диаметра бурта, располагается по отношению к нему перпендикулярно по образующей, определяется опытным путём – методом копирования по модели эвольвенты.

Высота рабочей части рабочей рельефной поверхности напрямую связана с толщиной листов (s)

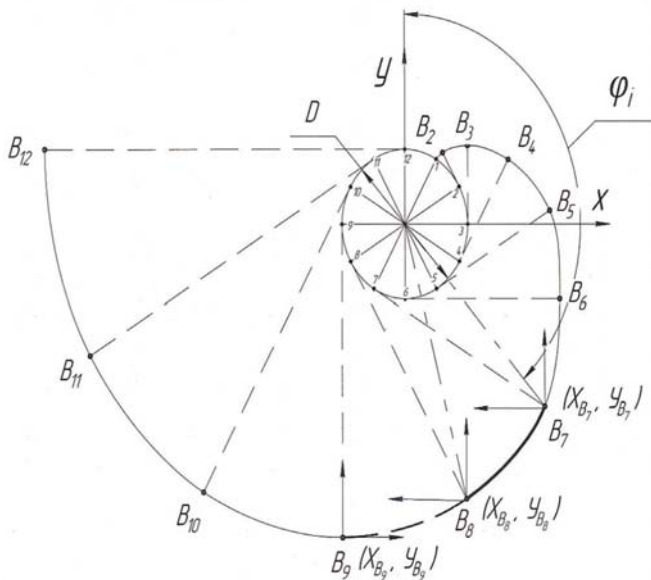


Рис. 3. Построение эвольвенты для контура «заходного» буртика для левого (B_8B_9) и правого (B_8B_7) применения: φ_i – угол построения эвольвенты; часть эвольвенты B_8B_9 – левое построение рабочего контура инструмента для СТП; часть эвольвенты B_8B_7 – правое построение рабочего контура инструмента для СТП

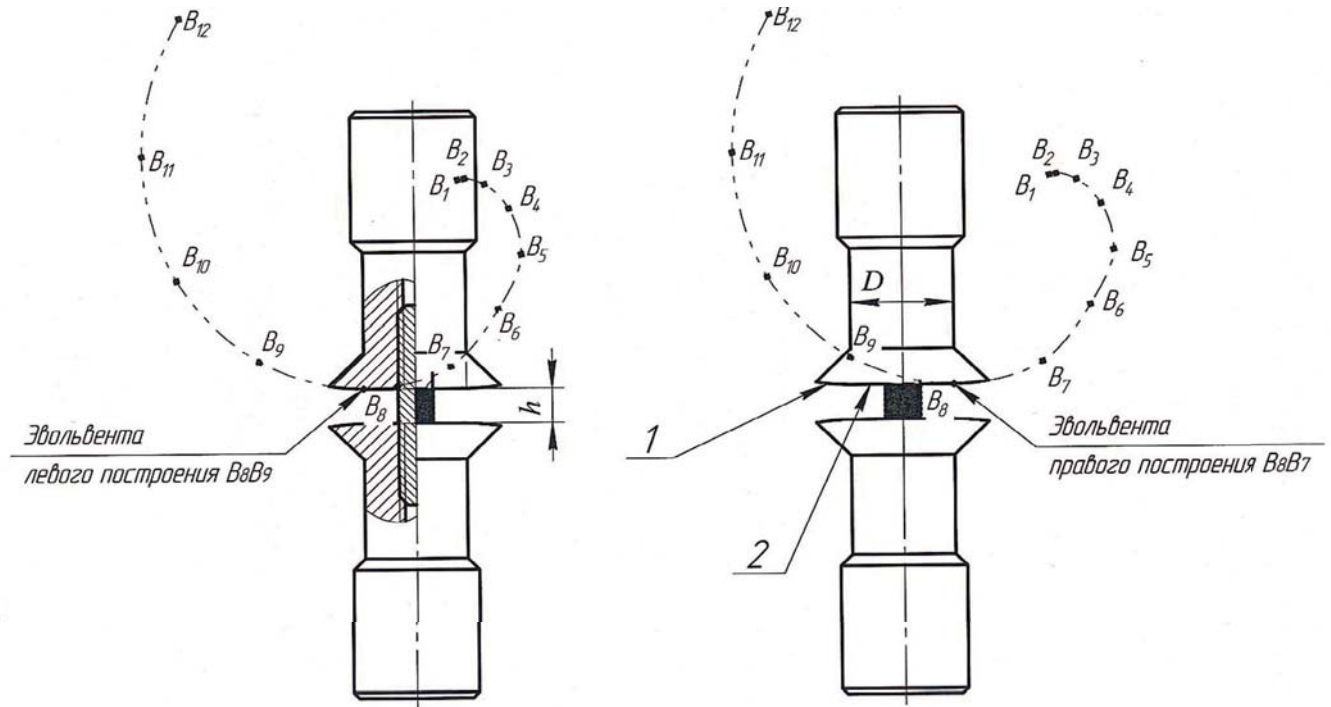


Рис. 4. Геометрия «заходного» буртика инструмента для СТП листовых заготовок с эвольвентным контуром буртика: 1 – рабочий контур буртика эвольвенты; 2 – опорная плоскость инструмента

с учётом допуска на изготовление ($\pm\Delta$). Минимальный размер рабочей высоты берётся равным толщине листа за вычетом отрицательного допуска, умноженного на 105%:

$$h = s_i - 1,05\Delta_i \quad (8)$$

где h – рабочая высота стержня, s_n – номинальная толщина листа (мм), Δ – минимальный допуск на изготовление листа.

Эвольвента, обводящая рабочую поверхность буртов, наиболее плавно выводит горизонтальную опорную плоскость бурта на периферию верхней плоскости свариваемых листов. Эвольвента может выставляться относительно диаметра бурта на правое или левое исполнение (рис. 4). Нижнее исполнение рабочей поверхности опорного бурта является зеркальным отображением торцевой рабочей поверхности верхнего бурта (рис. 1).

Основное трение происходит по площади контакта бурта и свариваемого материала. Для расчётов тепловыделения данная площадь разбивается на концентрические кольца разных диаметров, и для каждого кольца находится величина момента трения относительно его площади.

Основываясь на известных зависимостях расчёта величин тепловой мощности при сварке металла, можно сделать вывод, что при скорости вращения вала 26 об/с (1600 об/мин) значения тепловложения на участке радиусом от 1 до 3 мм развивают мощность от 0,08 до 0,2 кВт, что недостаточно для хорошей свариваемости алюминия и стали. При радиусе от 5 до 7 мм тепловая мощность составляет от 0,25 до 0,32 кВт, что показывает хорошую свариваемость алюминиевой и стальной полос.

Данный результат не так показателен для сварки алюминиевых конструкций, где работа производится за счет высокой теплопроводности алюминия, как для сварки сталей со значительно меньшей теплопроводностью. Для снижения действующих сил и повышения стойкости инструмента, а также увеличения скорости сварки алюминиевую полосу охлаждают (для уменьшения роста зерна), а стальную пластину подогревают (для ускорения процесса разогрева) до температуры тепловой деформации. Эвольвента создаёт разряжение воздуха на периферии заплечиков, что способствует образованию «тяговой силы» воздушного потока и частичного вы-

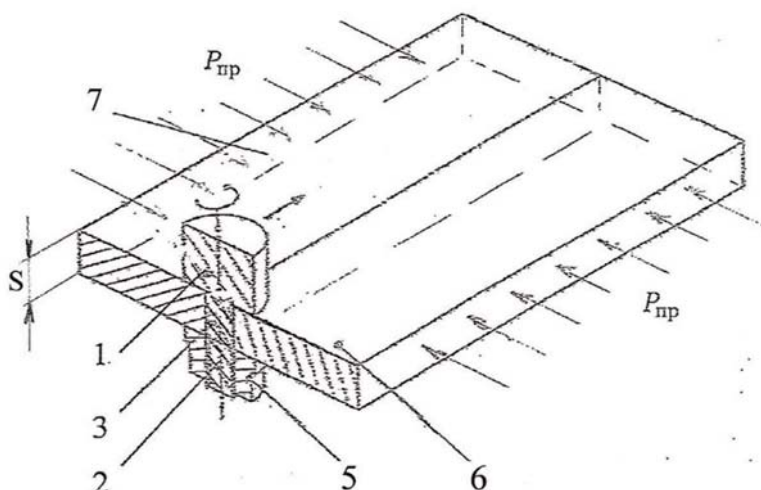


Рис. 5. Схема работы инструмента: 1 – верхний корпус; 2 – стержень; 3 – зубчатая нарезка; 4 – кольцевой буртик; 5 – нижний корпус; 6, 7 – листовые заготовки

равнивания температуры на поверхности сварного шва.

Сварочный инструмент работает следующим образом.

Включают привод вращения. Под действием возникающего крутящего момента $M_{кр}$ наконечник (стержень) 2 начинает вращаться, приводятся в действие верхний и нижний бурты с заплечиками. После того, как наконечник начинает вращаться с заданным числом оборотов, инструмент перемещают вдоль линии соединения двух половин заготовок свариваемой детали 6, 7 (рис. 5).

Вращающийся инструмент заходит со стороны кромки свариваемых листов, при этом наконечник вдавливают и перемещают находящийся с ним в контакте металл. Металл под буртом заполняет углубление, оставленное перемещением стержня, а заплечик нивелирует распределение жидкого металла для получения швов без отверстия.

Эвольвента заплечика придаёт наконечнику форму, необходимую для благоприятного течения металла в зоне сварки. Нижний бурт выполняет роль подкладки соединяемых деталей. В резуль-

тате вложенной тепловой энергии образуется сила трения между инструментом и частями свариваемой детали, обеспечивающая разогрев свариваемых участков деталей в зоне плоской поверхности бурта для их сварного соединения.

Нижний бурт вместе с заплечиком стационарно закреплены на стержне, что даёт возможность создавать простые по управлению инструменты для ручной сварки небольших тонкостенных объектов, при этом усилие, прилагаемое к инструменту для его перемещения, в случае сварки тонколистовых (до 0,5 мм) деталей, не превышает допустимых значений удержания инструмента (до 30 кгс). Повышение скорости вращения инструмента до 30000 об/мин позволяет уменьшить усилия, необходимые для перемещения сварочной головки ручного инструмента.

По наблюдениям авторов на эвольвентной поверхности заплечика в процессе сварки формируется зона разряжения, и локальные воздушные потоки нивелируют температуру на плоскости сварного шва.

Выводы

Рассмотрено состояние современного сварочного инструмента с точки зрения конструктивного влияния на качество сварочных работ. Предложен инструмент для сварки трением

с перемешиванием листовых заготовок, позволяющий повысить качество сварных соединений при сварке листовых заготовок с локальной разнотолщиной.



Библиографический список

1. Patent №5460317 US. Friction stir butt welding / W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham et al. – Publ. 1995.
2. Dolby R.E., Johnson K.J., Thomas W.M. The joining of aluminum extrusions// La metallurgia italiana. – 2004. №3. – P. 25–30.
3. Ding J., Carter R., Lawless K. et al. Friction stir welding flies high at NASA// Welding J. – 2006. – March. – P. 54–59.
4. Котлышев Р.Р. Сварка трением с перемешиванием. Монография. Ростов-на Дону, 2012. Министерство образования и науки РФ. ФГБОУ ВПО «Донской государственный университет». С. 134.
5. Заявка №2020104975 (007615) Российская Федерация, МПК В23К 20/12. Инструмент для фрикционной сварки с перемешиванием / Бараев А.В., Вайцехович С.М., Власов Ю.В., Должанский Ю.М., Журавлёв А.Ю., Илингина А.В., Кочергин С.А., Кулик В.И. (RU) – заявитель ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева, приоритет от 04.02.2020 (RU) – 12 с. ил.

Информация об авторах:

Вайцехович Сергей Михайлович –

канд. техн. наук, главный научный сотрудник
ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: vaytsekhovich@tmnpo.ru

Власов Юрий Вениаминович –

канд. техн. наук, и.о. генерального директора
ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: info@tmnpo.ru

Должанский Юрий Михайлович –

докт. техн. наук, главный научный сотрудник
ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Журавлёв Алексей Юрьевич –

начальник отделения ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: A.Zhuravlev@tmnpo.ru

Илингина Алла Валерьевна –

начальник отделения ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: a.ilingina@tmnpo.ru

Кочергин Сергей Александрович –

канд. техн. наук, заместитель начальника отделения
ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: S.Kochergin@tmnpo.ru

Кулик Виктор Иванович –

канд. техн. наук, начальник отделения
ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: V.Kulik@tm.fsa

Information about the authors:

Vaytsehovich Sergei Mikhailovich –

Ph.D. in Engineering Sciences, Chief Research
Scientist of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: vaytsekhovich@tmnpo.ru

Vlasov Yurii Veniaminovich –

Ph.D. in Engineering Sciences, Acting CEO
of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: info@tmnpo.ru

Dolzhanskiy Yurii Mikhailovich –

Doktor Nauk, Chief Research Scientist
of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Zhuravlev Alexey Yurevich –

Head of Department of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: A.Zhuravlev@tmnpo.ru

Ilingina Alla Valeryevna –

Head of Department of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: a.ilingina@tmnpo.ru

Kochergin Sergei Alexandrovich –

Ph.D. in Engineering Sciences, Deputy Head
of Department of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: S.Kochergin@tmnpo.ru

Kulik Viktor Ivanovich –

Ph.D. in Engineering Sciences, Head of Department
of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8(495) 689-96-90
E-mail: V.Kulik@tm.fsa

◆ СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП

УДК 629.78:658

Кондратенко А.Н.

Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности

Проведена оценка состояния, определены основные проблемные вопросы технико-экономического и производственно-технологического развития ракетно-космической промышленности. Описаны приоритетные направления и задачи производственно-технологического развития ракетно-космической промышленности.

Ключевые слова: производственно-технологическая база, кадровый потенциал, интегрированные структуры, приоритетные направления развития, новые технологии, импортнезависимость.

Kondratenko A.N.

The Condition Estimation and Priority Development Fields of the Aerospace industry

The condition estimation is carried out, main problem areas of technical-economic and production-processing development of the aerospace industry are identified. Priority development fields and objectives of production-processing development of the aerospace industry are described.

Keywords: production-processing base, workforce capacity, integrated structures, priority development fields, new technologies, import independence.

Ракетно-космическая промышленность (РКП) России – это основа реализации приоритетных направлений космической политики, которые в 2013 году утверждены до 2030 года и дальнейшую перспективу Указом Президента России [1], а также основа создания и развития космического потенциала России, который на мировом космическом рынке обеспечивает решение всего спектра задач космической деятельности [2]:

– производство ракетно-космической техники (РКТ) – производство ракет-носителей, космических аппаратов (КА), ракетных двигателей, гироскопических приборов, целевой аппаратуры,

наличие экспериментально-испытательной базы [3, 4, 6];

– возможность проведения пусков КА – наличие космодромов (полигонов), производство ракетного топлива, производство наземного технологического оборудования космодромов;

– возможность управления КА – наличие центров управления КА, наличие командно-измерительных комплексов, производство средств НКУ;

– возможность решения целевых задач – связь и телевидение, навигация, дистанционное зондирование Земли, метеорология, картографирование,



Рис. 1. Основные виды продукции, выпускаемые предприятиями РКП (в % отношении ко всему объему выпущенной продукции)

геодезия, контроль договоров по ограничению вооружений, военные задачи;

– научно-организационный потенциал – наличие национального космического ведомства, наличие научно-исследовательских центров по космическим проблемам, наличие национальной космической программы. Таким космическим потенциалом обладает еще только одна страна – США. Китай не может проводить работы по контролю договоров по ограничению вооружений, Индия и Япония не могут проводить работы по контролю договоров по ограничению вооружений и решать военные космические задачи, остальные космические державы не обладают космическим потенциалом по шести и более позициям.

РКП играет ведущую роль в обеспечении военной, социально-экономической и научной безопасности, оказывая существенное влияние на уровень военного, экономического и научного потенциалов Российской Федерации. Освоение космоса, ракетные технологии – оборонный щит России, возможность раннего выявления глобальных природных катаклизмов, естественная

основа для разработки новых технологий и получения современных материалов [5].

Основные виды продукции и услуг, производимых РКП (рис. 1):

- РКТ – 55%, из них военного и двойного назначения – 65%, социально-экономического и научного назначения – 35%;
- военная ракетная техника – 35%;
- прочая продукция – около 10%.

Необходимо отметить, что при создании военной ракетной техники и РКТ различного назначения организации РКП взаимодействуют с кооперацией более 600 предприятий ОПК и других смежных отраслей промышленности.

По состоянию на 2019 год в составе РКП находились 92 организации, в том числе 13 организаций – государственные унитарные предприятия и государственные учреждения, 79 – акционерные общества. По состоянию на 2019 год 84 организации РКП входили в состав Госкорпорации «Роскосмос» (млн руб., в ценах соответствующих лет).

Из общего числа организаций РКП 16,0% составляют промышленные предприятия, 63,0% –

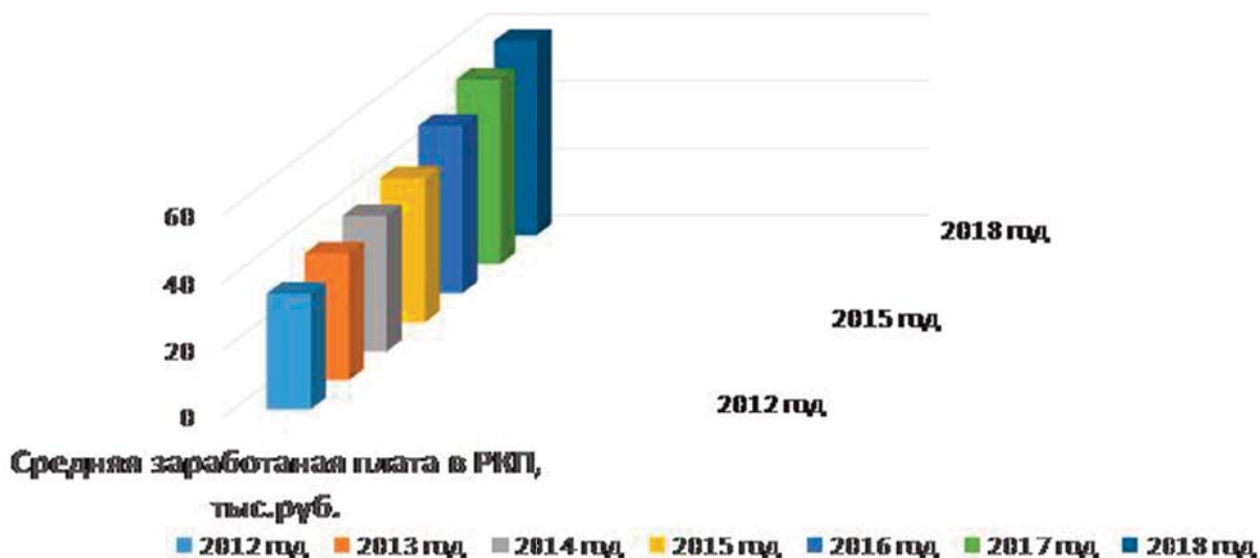


Рис. 2. Динамика средней заработной платы РКП

научные и конструкторские организации и 21,0% – прочие организации. Степень интеграции организаций РКП высокая и составляет около 70% – более 60 организаций входят в состав 14 интегрированных структур по основным направлениям разработки и создания РКТ, военной ракетной техники и их базовых элементов. Доли интегрированных структур РКП в общем объеме произведенной организациями РКП продукции: АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» – 7%, ПАО «РКК «Энергия» – 12%, АО «РКЦ «Прогресс» – 9%, АО «РКС» – 5%, АО «ИСС» – 6%, АО «ГРЦ Макеева» – 4%, ФГУП «НПЦАП» – 4%, АО «НПК «СПП» – 2%, АО «ВНИИЭМ» – 2%, ФГУП «ЦЭНКИ» – 5%, АО «СПУ» – 1%. ФКП «НИЦ РКП» – менее 0,5 %, АО НПО «Энергомаш» – 6%, АО «Корпорация МИТ» – 28%. При этом доля интегрированных структур в общем объеме производимой организациями РКП продукции составляет более 90%, выше, чем в целом по оборонно-промышленному комплексу.

В соответствии с планами Стратегии развития Госкорпорации «Роскосмос» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года списочная численность работников предприятий РКП по сравнению с 2016 годом уменьшилась более чем на 44,5 тыс. человек и в 2019 года составила 190,

8 тыс. человек (147, 7 тыс. человек – научный сектор и 22,5 тыс. человек – промышленность, 20,6 тыс. человек – прочие организации). В 2020 году рост численности работников РКП не прогнозируется.

Средняя заработная плата работников РКП в 2019 году составила 58,2 тыс. рублей, в том числе по основному производственному персоналу – 61,7 тыс. рублей в научном секторе и 49,3 тыс. рублей в промышленности. В период 2016–2019 годов наметилась тенденция уменьшения разрыва между уровнем заработной платы в научных и промышленных организациях. Динамика роста средней заработной платы в 2012–2018 гг. представлена на рис. 2.

В организациях РКП ведется планомерная работа по снижению среднего возраста работающих, который в 2018 году составлял 45 лет, что на 1,4 года меньше, чем в 2016 году. В 2019 году средний возраст по промышленности составил 45,2 лет. Прогнозируется дальнейшая положительная динамика в снижении возраста работников РКП.

Основные проблемы кадрового потенциала РКП:

– старение кадров – доля работников старше 50 лет составляет 43%;

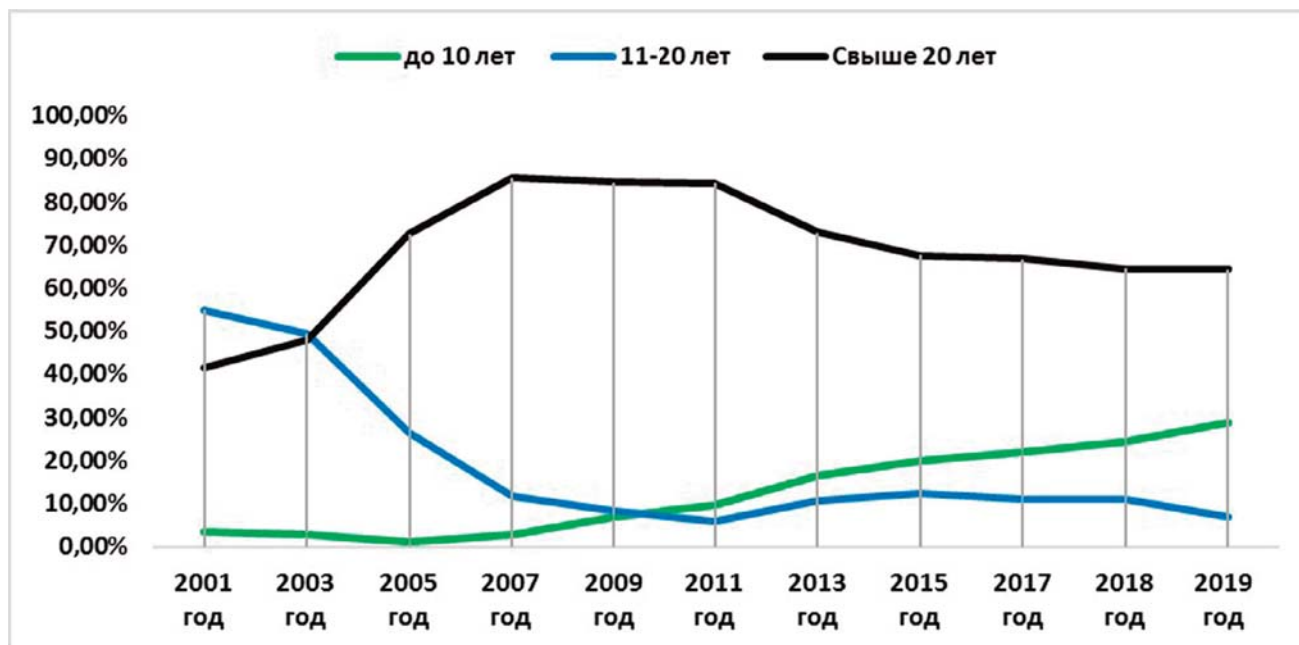


Рис. 3. Состояние производственно-технологического оборудования РКП

– несоответствие кадрового и образовательного потенциала современным требованиям – доля работников с высшим образованием составляет 44%;

– несоответствие проводимых программ обучения реальным потребностям РКП и др.

Пути решения кадровых проблем:

– увеличение амбициозных космических проектов с привлечением молодежи;

– реализация системы непрерывной подготовки и обучения кадров РКП и обучения руководителей различного уровня;

– прием на предприятия отрасли лучших выпускников профильных институтов: МГУ, МФТИ, МГТУ;

– создание на базе головных НИИ молодежных лабораторий, ведущих научные исследования и экспериментальные разработки по прорывным направлениям, связанным с высокой степенью риска достижения качественно новых результатов, и осуществляющих разработку перспективной РКТ;

– выдвижение лучших молодых работников в резерв на замещение руководящих должностей, обучение, подготовка резервистов;

– поощрение креативных и творческих работников – первая подпрограмма действующей

ГП ОПК («Стимулирование развития ОПК») и др.

Необходимо кардинально изменить структуру кадрового потенциала – увеличить долю основного персонала работников с 30 % до 60 %, а долю основного персонала, обученного по программам переподготовки – с 20 % до 50 %.

На предприятиях отрасли имеется мощная производственно-технологическая база, обеспечивающая производство большой номенклатуры изделий РКТ и БРТ, включающая широкий парк уникального станочного, технологического, экспериментально-испытательного и метрологического оборудования [6].

На сегодняшний день 65 % всего оборудования – это оборудование, выпущенное более 20 лет назад (рис. 3). Доля современного оборудования в общем количестве производственного оборудования на предприятиях отрасли остается низкой – средний возраст машин и оборудования около 20 лет, физический износ более 59%. Доля современных станков с программным управлением составляет только 25 % от общего числа.

Анализ станочного парка и оборудования показывает, что в организациях отрасли наблюдается тенденция к уменьшению общего числа

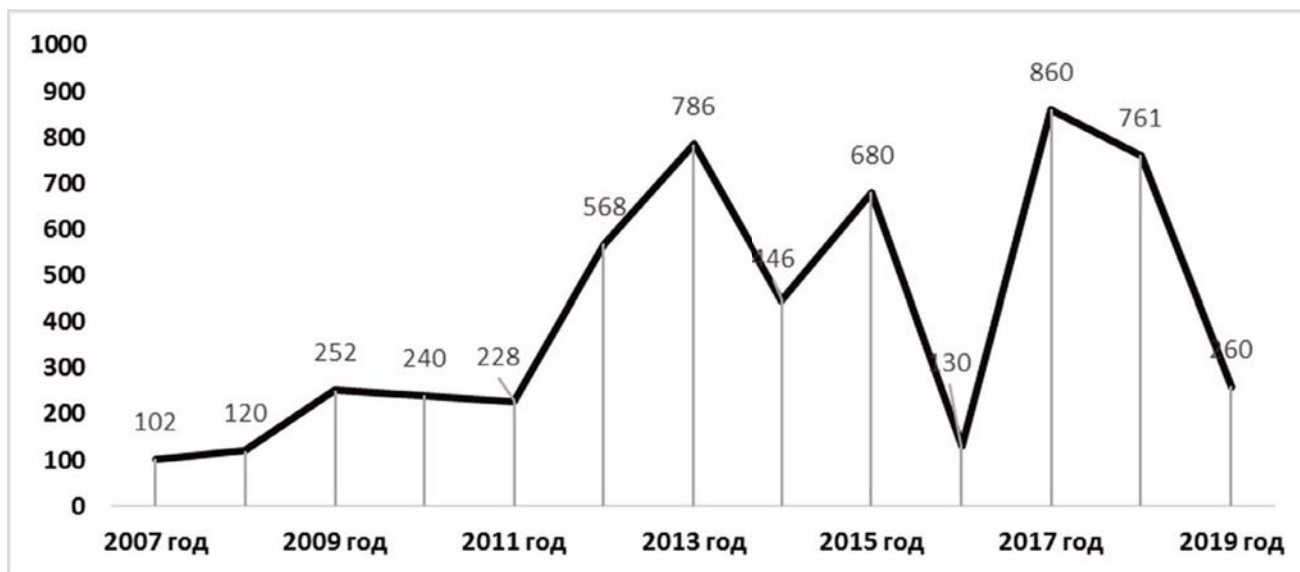


Рис. 4. Количество закупленного и внедренного современного высокотехнологичного оборудования в РКП

оборудования в связи с выводом из эксплуатации изношенного, устаревшего и неприменяемого оборудования. Снижение общего количества станочного парка и технологического оборудования в процессе оптимизации по видам производств с учетом увеличения количества оборудования, используемого в основном производстве, позволит увеличить объём производства деталей и сборочных единиц (загруженность станочного парка) и, как следствие, приведет к увеличению производительности труда.

Общее количество (учитывая загрузку в пределах 50 %) и техническое состояние основного оборудования позволяют предприятиям РКП выполнять текущие производственные планы. Использование существующего малопроизводительного, требующего постоянного ремонта, морально и физически устаревшего технологического оборудования определяет низкую производительность и длительный цикл производства. Высокий уровень использования универсального оборудования обуславливает необходимость привлечения высококвалифицированного персонала и низкую производительность труда.

Такое состояние оборудования приводит к повышенным затратам на ремонт, потери рабочего времени в связи с простоями на ремонт и не поз-

воляет внедрять в технологические процессы предприятия большинство инноваций, используемых на мировом уровне, в том числе на машиностроительных производствах – в итоге проявляется тенденция увеличения производственного цикла изготовления РКТ.

Доля импортного оборудования в общем количестве технологического оборудования, в виду специфики выпускаемой продукции и отсутствия российских аналогов, отвечающих предъявляемым функциональным требованиям, составляет в среднем 26%. Состояние импортного технологического оборудования отрасли характеризуется повышенным уровнем износа. В настоящее время на предприятиях РКП эксплуатируется около 28% импортного технологического оборудования, аналоги которого не выпускаются отечественной промышленностью.

По результатам проводимых в промышленности реконструкции и технического перевооружения основных фондов на начало 2019 года доля оборудования возрастом до 10 лет возросла и оценочно составляет около 28,7 % от общего количества оборудования (рис. 3). На рис. 4 также представлена динамика закупки и внедрения современного высокотехнологичного оборудования в РКП.

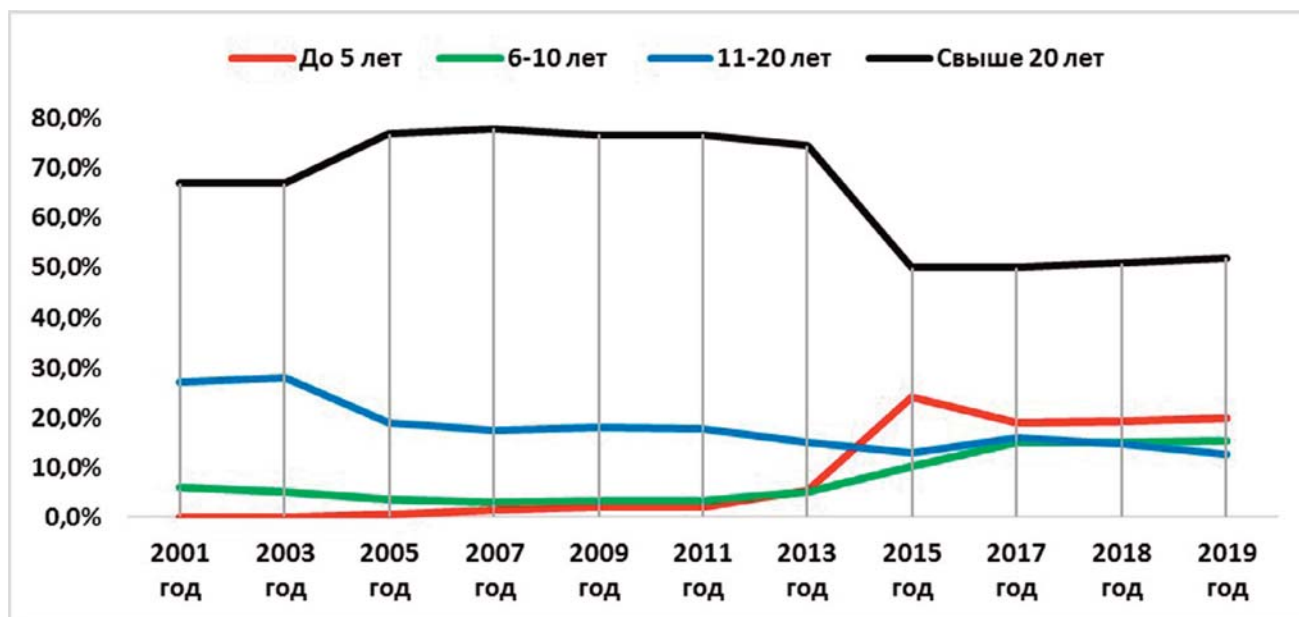


Рис. 5. Сроки эксплуатации установок и стендов экспериментально-испытательной базы РКП

Средняя стоимость единицы приобретенного оборудования составляет: производства России – 3,1 млн руб./ед.; зарубежного производства – 7,7 млн руб./ед. Предприятия отрасли списывают, преимущественно, устаревшее отечественное оборудование, а закупают современное импортное. При закупке металлорежущего оборудования основные средства предприятий вкладываются в приобретение импортных станков с ЧПУ и обрабатывающих центров.

Предприятия ракетостроения и двигателестроения закупают качественное высокопроизводительное оборудование в странах с высоким уровнем развития станкостроения (Германии, Швейцарии, Японии, Тайване, Южной Корее, Чехии, Италии, Австрии). Доля закупок в Китае незначительна, что объясняется низким уровнем качества и надежности станков.

Предприятия приборостроительного профиля закупают, в основном, прецизионные высокоточные станки производства Швейцарии. При условии бюджетного финансирования техпереворужения отрасли в рамках, установленных действующими федеральными целевыми программами, и при возможности закупать современное высокотехнологичное оборудование

на международных рынках, планируется качественно улучшить состав оборудования РКП.

В 2011–2019 годах предприятия отрасли закупают металлорежущее оборудование производства России и 28 зарубежных странах, из которых основными изготовителями являются Германия, Чехия, Швейцария, Италия, Австрия, Тайвань, Южная Корея, Япония.

Ситуация с экспериментально-испытательным оборудованием представлена на рис. 5 – старше 20 лет более 50 % стенов и установок [6].

Из более миллиона применяемых средств измерений 84 % выпущено более 20 лет назад. Во многом причиной такого положения является то, что предприятия крайне редко включают измерительное оборудование в инвестиционные проекты и программы технического перевооружения.

Таким образом, в настоящее время одной из приоритетных задач РКП является поддержание и развитие производственно-технологического потенциала РКП, обеспечивающего разработку и производство 100% РКТ и БРТ требуемой номенклатуры, необходимого количества, качества и надежности (рис. 6). В ближайшие три-четыре года требуется завершение подготовки серийного



Рис. 6. Первоочередные задачи РКП в части производственно-технологического обеспечения космической деятельности

производства КРК «Ангара», новой жидкостной ракеты военного назначения. Также необходимо завершить к 2023 году модернизацию производства твердотопливной ракетной техники, требуется обеспечить создание КРК СТК, ядерных буксиров с электро-реактивными двигателями, новых пилотируемых космических кораблей и др. Выполнение целевых задач ГПВ, ГП КДР (в т.ч. ФКПР-2025, ФЦП «ГЛОНАСС», ФЦП «Сфера» [7], подпрограммы «РН СТК» [8] и др.) невозможно без создания современного производства.

На сегодняшний день первоочередными задачами РКП в части производственно-технологического обеспечения в целом космической деятельности, в том числе реализации указанных программ являются:

- технологическая модернизация РКП;
- реконструкция и техническое перевооружение производственных мощностей;
- оптимизация производств, создание цент-

ров технологических компетенций и др.

Приоритетные направления совершенствования и развития производственно-технологической базы РКП [9]:

- I. Внедрение новых технологий.
- II. Развитие проектно-конструкторских и производственных мощностей.
- III. Повышение эффективности производств.
- IV. Повышение эффективности функционирования экспериментально-испытательной и стендовой базы.
- V. Обеспечение импортонезависимости.

I. Требуется развитие и реализация прорывных технологий [9, 10] («Топ-20»), внедрение любой из которых позволит во много раз повысить эффективность решения традиционных задач, а также ставить и решать новые задачи. Динамика разработки и внедрения промышленных технологий РКП показана на рис. 7.

Необходимо до 2025 года до 25–30% увеличить долю прорывных промышленных технологий

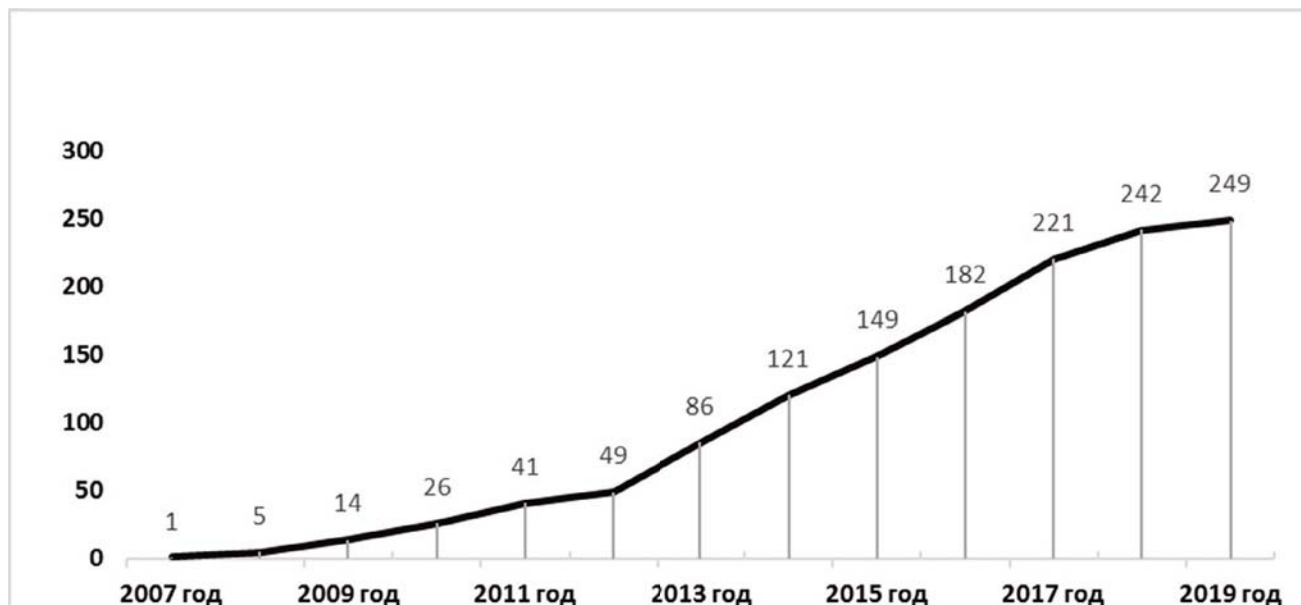


Рис. 7. Количество разработанных и внедренных промышленных критических и базовых технологий РКП

мирового уровня, разработанных до девятого уровня по шкале TRL, от общего числа технологий, включенных в «Топ-20», что позволит обеспечить технологический задел для производства последующих поколений средств выведения и КА с конкурентными на мировых рынках целевыми и эксплуатационными характеристиками:

- изготовление образцов средств выведения, включая РН семейств «Ангара» и «Союз», четырех типов модернизированных разгонных блоков («Бриз», «Фрегат», «Волга», «ДМ-03»), перспективного кислородно-водородного разгонного блока (ОКР «Двина-КВТК») в составе РН «Ангара-А5»;

- создание КА нового поколения с улучшенными техническими характеристиками и потребительскими свойствами;

- создание КРК СТК;

- реализация новых проектов и программ (программа «Сфера», цифровая земля и др.).

II. Основные направления развития проектно-конструкторских и производственных мощностей:

- системы 3D-проектирования и конструирования;

- интегрированные интерфейсы обмена между разными проектно-конструкторскими ор-

ганизациями;

- электронная проектная, конструкторская и технологическая документация;

- высокодетальные цифровые двойники изделий.

Развитие проектно-конструкторских мощностей по этим направлениям обеспечит повышение эффективности выполнения работ по созданию, изготовлению, производству и эксплуатации ракетной техники и РКТ, подготовку производственных мощностей предприятий к обеспечению опытного и серийного производства, снижение стоимости выполнения работ.

III. В обеспечение повышения эффективности производств требуется оптимизация центров промышленной компетенции по региональному признаку, исключение дублирования технологических переделов одного типа, имитационное предсказательное моделирование создания и производства, виртуализация испытаний изделий РКТ на отраслевых супер-ЭВМ.

Развитие и совершенствование научно-технического и производственно-технологического потенциалов предприятий РКП в интересах повышения их эффективности достигается путем решения следующих задач:

- цифровизации производств с внедрением

виртуальной и дополненной реальности;

- внедрения аддитивных технологий;
- реконструкции и технического перевооружения производств;
- внедрения принципов бережливого производства;
- импортозамещения производства стратегических материалов;
- формирования системы внедрения прорывных, наилучших доступных и передовых технологических разработок.

В ходе реконструкции, технического перевооружения производств организаций РКП и нового капитального строительства предусматривается замена оборудования, технологических линий и агрегатов, используемых в производстве, на более совершенные, с расширением, при необходимости, имеющихся производственных площадей, и со строительством новых зданий и сооружений основного назначения. В период до 2030 года планируется путем реконструкции оптимизировать пассивную часть основных производственных фондов и снизить уровень фондоизноса на 10 % (в том числе за счет нового строительства) за каждый пятилетний период.

IV. Основные задачи повышения эффективности функционирования экспериментально-испытательной и стендовой базы:

- оптимизация состава экспериментально-испытательного оборудования;
- цифровизация всей системы наземной экспериментальной отработки РКТ;
- технологическая модернизация систем измерения и обработки информации;
- реконструкция и техническое перевооружение стендов, установок, общетехнических и технологических систем.

Реализация данных задач должна осуществляться, исходя из концентрации испытаний на ограниченном числе предприятий, что позволит сократить затраты на содержание дублирующих стендов и установок, повысить квалификацию специалистов-экспериментаторов. Целесообразно создание центров для проведения ком-

плексных завершающих и независимых сертификационных испытаний конкретных видов изделий РКТ (средств выведения, КА, двигательных установок, систем управления, ИСБ и других изделий) на основе предприятий и организаций РКП, имеющих необходимую испытательную базу и опыт НЭО изделий космических комплексов.

Целевые показатели и индикаторы эффективности функционирования экспериментально-испытательной и стендовой базы:

- увеличение доли испытаний создаваемых изделий с использованием методов математического моделирования с 15 % до 50–60 %;
- увеличение загрузки до 55%;
- обеспечение требуемой полноты отработки создаваемых изделий военной ракетной техники, РКТ.

Перспективными задачами развития экспериментально-испытательной базы является отработка РН СТК (в том числе требуется проработка вопроса необходимости строительства универсального комплекса стенд-старт и логистики испытаний баков большого диаметра), лунного взлетно-посадочного комплекса и межорбитальных буксиров, новых образцов военной ракетной техники и др.

Также необходимо отметить проблему отсутствия в настоящее время в отечественной РКП единой современной экспериментальной базы для проведения комплексных испытаний и сертификации материалов. За рубежом указанная проблема решена: в США, Европе, Японии существуют свыше 20 исследовательских центров, например, CSFC (США), MSFC (США), ESTEC (Голландия), DERTS (Франция) по разработке, испытаниям и сертификации материалов и покрытий космического назначения на воздействие факторов космического пространства. Разработка новых материалов проводится централизованно, с поддержкой правительств и академических кругов. Благодаря такому подходу обеспечивается быстрое внедрение разрабатываемых материалов в изделия аэрокосмических пред-



приятый для создания космических аппаратов нового поколения. Без проведения комплексных испытаний современных космических композиционных материалов и покрытий невозможна разработка и изготовление крупногабаритных трансформируемых рефлекторов, параболических и контурных антенн, сверхточных антенн, силовых углепластиковых и сотовых конструкций, двухконтурных радиаторов систем терморегулирования, силовых углепластиковых конструкций солнечных батарей, гибких трансформируемых элементов конструкций из композиционных материалов.

V. Наиболее острые проблемы обеспечения импортонезависимости в условиях санкций связаны с закупкой иностранного сырья и материалов, оборудования, покупных комплектующих изделий (ПКИ) и электронной компонентной базы (ЭКБ) [9].

Санкции на поставки оборудования двойного назначения приводят к снижению возможности получения современного оборудования и технологий. Санкционный режим в отношении России будет носить длительный характер и без возрождения собственной станкостроительной и электронной промышленности выход России на передовой технологический уровень маловероятен.

Как отмечалось ранее, доля импортного оборудования в общем количестве технологического оборудования РКП составляет 26%. При этом около 28% импортного технологического оборудования не имеет аналогов, выпускаемых отечественной промышленностью.

В целях обеспечения импортонезависимости предприятий РКП в части оборудования в РКП во взаимодействии с Минпромторгом России и заинтересованными организациями России необходима реализация ряда мероприятий:

– государственная поддержка развития отечественного станкостроения (обеспечение льготных условий, государственные заказы, снижение налогового бремени, льготное кредитование и субсидии для модернизации мощностей и вы-

пускаемого оборудования, финансирование технологических НИОКР, другие государственные преференции);

– ускоренное освоение серийного выпуска наиболее востребованного импортозамещающего металлообрабатывающего оборудования, необходимого для технологического перевооружения предприятий РКП;

– организация крупноузловой сборки металлообрабатывающего оборудования иностранных марок наиболее востребованного в РКП, в том числе токарных, горизонтально-расточных, фрезерных станков и обрабатывающих центров;

– развитие отечественного производства ключевых станочных комплектующих, узлов и приспособлений (поворотных столов, шпинделей, инструментальных магазинов, устройств подачи СОТС, устройств ЧПУ, револьверных головок, контактных измерительных систем, кольцевых датчиков обратной связи, гидроприводов, роликовых направляющих качения, прецизионных планетарных редукторов, шариковых и роликовых подшипников, шарико-винтовых передач);

– переоснащение лабораторий и учебно-производственных классов средне-специальных и высших учебных заведений технологическим оборудованием российского производства для обучения производственных рабочих работе на отечественном оборудовании;

– создание в РКП специальной службы обеспечения предприятий необходимым набором запасных частей, инструментов и приспособлений.

В 2016-2018 годы по импортным материалам и сырью, ПКИ, ЭКБ, закуплено около 7000 наименований, в том числе:

- ПКИ – 260 наименований (3,7%),
- ЭКБ – 6 284 наименований (90,3%),
- материалы и сырье – 415 наименований (6,0%).

В обеспечение импортонезависимости создания РКП в части материалов и сырья, ПКИ, ЭКБ должна быть реализована общая система мер по следующим направлениям:

– поддержание в актуализированном состоянии совокупности критериев оценки импортнезависимости при создании образцов РКТ и методики разработки комплекса мероприятий по ее достижению;

– внедрение в практику порядка проведения экспертизы головными научно-исследовательскими организациями РКП необходимости и обоснованности применения материалов и компонентов иностранного производства в РКТ;

– актуализированное формирование промышленной программы импортозамещения на основе соответствующих программ вертикально-интегрированных структур и предприятий РКП;

– создание единых каталогов закупаемых материалов, компонентов и услуг, а также единой промышленной системы нормативно-справочной информации;

– проведение работ по унификации и сокращению типов номиналов применяемых компонентов, материалов и технологий и др.

Основные проблемы обеспечения материалами – отсутствие отечественного производства ряда материалов, в том числе отсутствие производства ряда высокотехнологичных материалов с заданными свойствами, прекращение производства материалов (остановка производства в связи с нерентабельностью выпуска, сменой формы собственности, изношенностью оборудования, реконструкцией и т.п.), более высокая цена ряда отечественных материалов по сравнению с импортными. При отсутствии требуемого материала на отечественном рынке предприятия вынуждены закупать его за рубежом.

В части закупаемых импортных материалов и сырья по состоянию на 2019 год сложившаяся ситуация характеризуется следующими показателями – для производства РКТ закупается за рубежом в странах ближнего и дальнего зарубежья 228 наименований дефицитных материалов и сырья, в том числе для 133 наименований материалов на сегодняшний день изготовитель на территории Российской Федерации не выявлен, а по 95 наименованиям материалов и сырья, за-

купаемых по импорту (около 42 % от общего числа импортных материалов и сырья), решена проблема импортнезависимости – в настоящее время на стадии завершения находится организация производства в Российской Федерации (имеется российский аналог или производство материалов будет организовано в ближайшие три-четыре года).

Производство современной РКТ находится в большой зависимости от поставок зарубежной электронной элементной базы уровня качества Space или Military. Данные комплектующие рассчитаны на эксплуатацию в сложных условиях, таких как открытое космическое пространство. В настоящее время доля импортной ЭКБ в бортовой аппаратуре РКТ в среднем составляет около 46 %, а в некоторых КА – до 65 % комплектующих иностранного производства. Доля импортной элементной базы зависит от назначения спутников – в коммерческих КА количество отечественных комплектующих заметно меньше, чем в военных.

В целях обеспечения импортнезависимости предприятий РКП в части ЭКБ необходимо:

– усиление взаимодействия с Минпромторгом России по созданию высоконадежной ЭКБ космического применения;

– проведение постоянного мониторинга процесса состояния, развития отечественного приборостроения, а также комплектования РКТ и оперативное принятие управленческих решений по замене недоступных к поставке позиций на аналоги с проведением перепроектирования принятых схмотехнологических решений в целях устранения срыва/риска срыва поставок;

– планирование работ по отказу от применения сложных высокоинтегрированных изделий ЭКБ иностранного производства путем использования специализированной ЭКБ космического назначения, в том числе с использованием «систем на кристалле» и «систем в корпусе», что позволяет реализовать функции целого прибора в одном корпусе;

– обеспечить увязку мероприятий федеральных целевых программ, программы фундаментальных



научных исследований РАН и других целевых программ, направленных на создание научно-технического задела по созданию ЭКБ;

– обеспечить государственную финансовую поддержку приобретения необходимой ЭКБ, элементов приборного ряда в обеспечение создания

и поддержания необходимого страхового запаса ЭКБ, элементов приборного ряда для обеспечения всего цикла производства создаваемой РКТ;

– при необходимости предусматривать переориентацию на поставки ЭКБ, элементов приборного ряда из стран Юго-Восточной Азии.

Библиографический список

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу (утверждены Президентом Российской Федерации от 19.04.2013 № Пр-906).

2. Система взглядов на осуществление Россией независимой космической деятельности со своей территории во всем спектре решаемых задач на период до 2040 года (одобрена Советом Безопасности Российской Федерации, апрель 2007 года).

3. Кузин А.И., Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Перспективы развития экспериментальной и испытательной баз производства изделий РКТ // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2017. № 4. – С.21– 4.

4. Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Состояние и направления развития производственной испытательной базы РКП // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2018. № 8. – С. 23–26.

5. Кондратенко А.Н., Олексенко И.А., Панов Д.В. О новых подходах и роли головных научно-исследовательских организаций по планированию и сопровождению реализации государственных и федеральных целевых программ в части производственно-технологического развития ракетно-космической промышленности // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2018. № 6. – С. 4–9.

6. Власов Ю.В., Кузин А.И., Поморцев П.М., Кондратенко А.Н. Состояние технологической готовности производств и метрологического обеспечения производственно-технологической базы отрасли для обеспечения бездефектного производства перспективных изделий РКТ, проблемные вопросы и предложения по их решению // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2019. № 9. – С. 79–83.

7. О формировании и реализации федеральной целевой программы Сфера. Указ Президента Российской Федерации от 18.07.2018 № Пр-1256.

8. О создании космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса. Указ Президента Российской Федерации от 29.01.2018 №32.

9. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года.

10. Кондратенко А.Н., Олексенко И.А. Методические подходы рассмотрения и отбора мероприятий по реконструкции и техническому перевооружению предприятий и технологическим НИОКР для включения в программные мероприятия ГП и ФЦП в части производственно-технологического развития РКП // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2019. № 9. – С. 19–27.

Информация об авторах:

Кондратенко Александр Николаевич –
канд. техн. наук, директор центра
ФГУП «НПО «Техномаш»
Тел.: 8(495) 689-96-90
E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

Information about the authors:

Kondratenko Alexander Nikolaevich –
Ph.D. in Engineering Sciences, Center Director
of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8 (495) 689-96-90
E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

УДК 658.51

Рахмилевич Е.Г., Каргапольцев Д.М.

Цифровой двойник производственной системы

В статье предложен концептуальный подход к созданию цифрового двойника производственной системы. Данный подход основан на методологии управления жизненным циклом производственной системы. Также рассмотрены назначение и основные этапы реализации цифрового двойника производственной системы.

Ключевые слова: цифровой двойник, производственная система, цифровое производство, жизненный цикл изделия, жизненный цикл производственной системы.

Rakhmievich E.G., Kargapolcev D.M.

A digital twin of the production system

A conceptual approach in designing of a digital twin of the production system is proposed in the article. The approach is based on the methodology of the production system life cycle management. The purpose and main stages of the digital twin of the production system implementation are discussed.

Keywords: digital twin, production system, digital production, product life cycle, production system life cycle.

Введение

Конкурентоспособность любого машиностроительного предприятия зависит от разных факторов, прежде всего от уровня и эффективности применяемых организационно-технических решений (технический уровень оборудования, прогрессивность технологий и технологических решений, уровень организации производства, квалификация персонала, способность быстро адаптироваться под условия рынка и новые производственные условия и др.). Современное развитие технологий подводит промышленность многих стран к переходу на «цифровое производство» (концепция «Индустрия 4.0»). Компании (группы компаний, отрасли), разрабатывающие и внедряющие цифровые технологии на своих предприятиях, получают весомое преимущество по сравнению с теми, кто этого не делает. В ряде предприятий (отраслей) существуют трудноуправляемые

процессы, которые требуют повышенного внимания при внедрении цифровых решений, так как несут в себе технологические риски и издержки (часто для их обеспечения в технологии закладываются «технологические потери») из-за недостаточной формализации производственно-технологической информации. Часто невозможно провести надлежащий контроль качества существующими методами, в том числе непосредственно во время производства изделий.

Возникает необходимость создания и модернизация производственных систем (ПС), отвечающих требованиям «Индустрии 4.0.», направленных на повышение производительности труда, увеличении уровня автоматизации и «прозрачности» всех производственных процессов, автоматизации принятия управленческих решений и др.



Актуальность цифровизации производства

Результаты санитарно-эпидемиологической обстановки 2019–2020 годов от действия инфекции COVID-19 в мире показали, что страны и организации, делавшие ставку на дешевый человеческий труд как альтернативу автоматизации в целях сокращения затрат на производство своей продукции, были практически парализованы на недели, а зачастую и на месяцы. В результате чего они понесли колоссальные экономические убытки, которые могут оказаться весомее кризиса 2008 года (вплоть до банкротства множества компаний). Падение значения мирового ВВП, в частности из-за остановки производства, может произойти на 1,5%, против 0,1% во время мирового финансового кризиса [1].

В мире наблюдается тенденция распространения эпидемий инфекций: атипичная пневмония (SARS) 2002–2003 годов, ближневосточный

респираторный синдром MERS 2015 год, COVID-19 2019–2020 годов. При этом ущерб, наносимый мировым экономикам от случая к случаю, растет в разы [2]. Приоритетным направлением становится автоматизация производственного процесса, основанного на принципах «цифрового производства».

Согласно исследованию Gartner, такие технологии цифровизации как машинное обучение, IT-риск менеджмент, управление жизненным циклом через API, облачные сервисы и другие технологии станут широко доступны для большинства компаний в ближайшие 5 лет [3].

Согласно отчету McKinsey, цифровизация российской экономики станет важным источником долгосрочного экономического роста, а потенциальный эффект для ВВП от цифровизации к 2025 году оценивается в 4,1–8,9 трлн руб., что составит 19–34% общего увеличения ВВП [4].

Актуальность цифровизации в ракетно-космической промышленности

Важно отметить, что одной из первых отраслей в Российской Федерации, сформировавшей свою собственную стратегию цифрового развития, является ракетно-космическая промышленность (РКП). Так, в конце 2019 года утверждена «Стратегия цифровой трансформации Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года».

Одним из основных инструментов реализации стратегических целей Госкорпорации «Роскосмос» является формирование новой производственной системы, направленной на обеспечение производственно-технологической готовности промышленности к выпуску изделий ракетно-космической техники (РКТ) с характеристиками, соответствующими или превышающими характеристики лучших мировых аналогов, а также обеспечивающей конкурентоспособность в области космической деятельности.

Современное техническое перевооружение предприятий [5, 6] невозможно без реализации

принципов цифрового производства, создания комплексов информационно-программных средств, обеспечивающих автоматизацию управления высокотехнологичным оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ), включая обрабатывающие центры, технологические участки на их основе, роботы и роботизированные комплексы, поточные линии различного назначения, автоматизированные склады, средства транспортировки заготовок и изготовленных деталей, используемого инструмента и технологической оснастки, автоматизированные средства контроля качества выпускаемой продукции.

Важным решением в управлении такими современным производством является наличие и эффективная работа цифровых двойников производственных систем. В данной статье рассматриваются основные концептуальные решения по созданию цифрового двойника производственных систем на базе методологии управления жизненным циклом производственной системы.

Жизненный цикл производственной системы

Рассмотрение жизненного цикла производственной системы (ЖЦ ПС) невозможно рассматривать в отрыве от жизненного цикла изделия и создания для них общего единого информационного пространства («цифровой платформы»).

Жизненный цикл изделия (ЖЦИ) – совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации (ГОСТ Р 56136-2014) [7].

В условиях современных вычислительных мощностей на каждой стадии ЖЦИ могут использоваться различные системы автоматизации. Благодаря таким системам появляется возможность создания виртуальных моделей любых физических объектов (изделие, оборудование, производственная система и др.). Пример использования наиболее распространенных систем автоматизации в зависимости от стадии ЖЦИ представлен на рис. 1.

Производственная система, в общем случае, рассматривается как совокупность основных (технологических, производственных), вспомогательных и обслуживающих процессов, служб и подразделений (конструкторских, технологических, производственных), реализуемых в форме производственного предприятия, изготавливающего определенные виды продукции требуемого качества с заданной программой выпуска с наименьшими затратами.

В общем случае структурными элементами производственной системы являются [8]: основная (технологическая) подсистема; подсистема инструментального обеспечения; подсистема контроля качества изделий; складская подсистема; подсистема охраны труда и персонала; транспортная подсистема; подсистема технического обслуживания и ремонта; подсистема удаления технологических отходов; подсистема мониторинга и управления; подсистема обеспечения вспомогательными технологическими материалами.

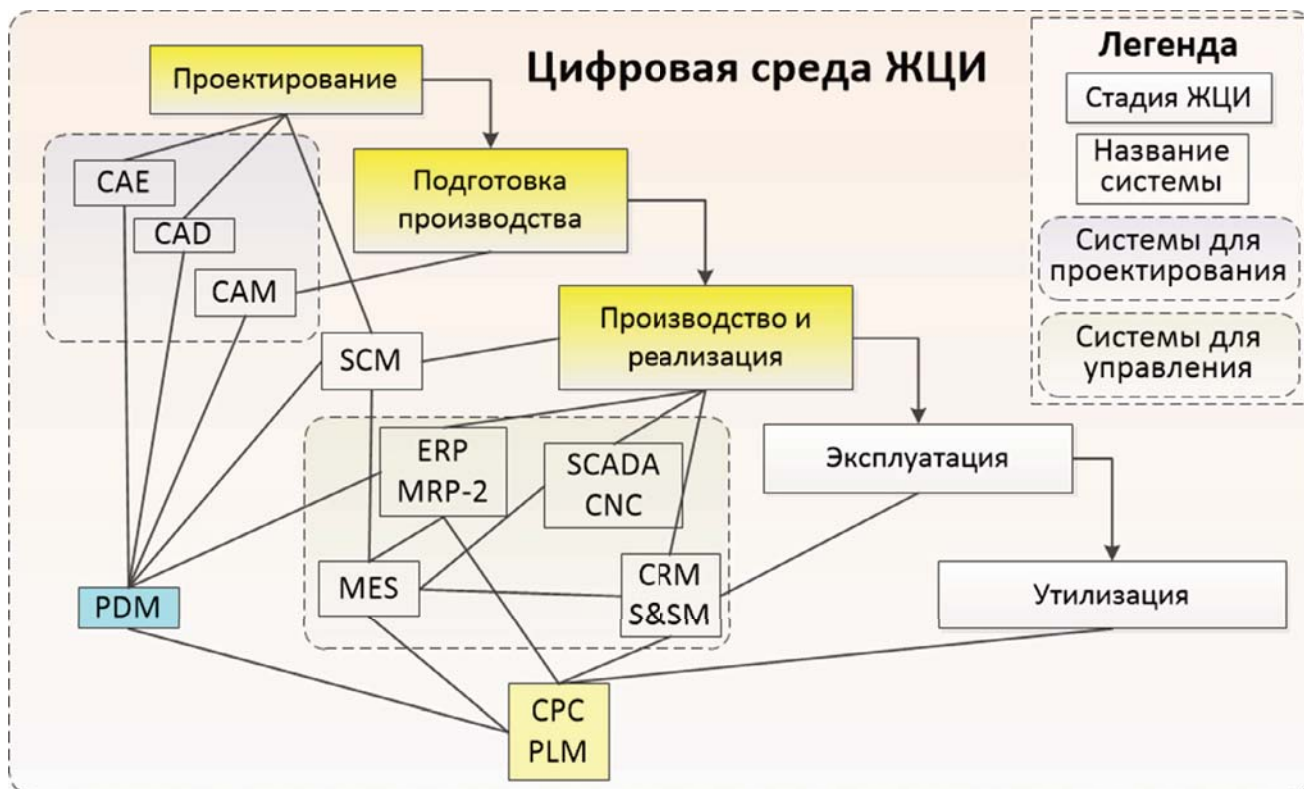


Рис. 1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

По определению ЖЦ системы из ГОСТ Р 57193: развитие системы, продукции, услуги, проекта или другой создаваемой человеком сущности от замысла до списания [9]. Таким образом, ЖЦ ПС можно разделить на стадии по аналогии с ЖЦИ.

Подсистемы ПС имеют три вида связей: материальные, энергетические и информационные.

При разработке новой системы для внедрения в существующую ПС за основу берется модель

ЖЦ сложной системы: «модель ЖЦ для системного инженера» (*пер. с англ.*) [10]. В данной модели предлагается разделить период существования системы на ряд основных шагов, разделяемых точками принятия наиболее важных решений (вехами).

Согласно этой модели ЖЦ системы укрупненно делится на три стадии: разработка концепции; разработка инженерно-технических решений; стадия эксплуатации.

Концепция цифрового двойника как неотъемлемая часть цифрового производства

В 2020 г. предложен первый предварительный национальный стандарт (ПНСТ) РФ «Умное производство (УП). Цифровые двойники» [11]. В первой части стандарта закреплено следующее определение **цифрового двойника (ЦД)**: «Цифровая модель определенного физического элемента или процесса с потоками данных, обеспечивающими конвергенцию между физическим и виртуальным объектами при соответствующей скорости синхронизации».

Концепция ЦД как часть четвертой промышленной революции призвана помочь предприятиям быстрее выявлять проблемы физического объекта, моделировать последствия и

прогнозы, а также разрабатывать комплекс мер для устранения проблем и уменьшения негативных последствий. На рис. 2 представлена схема взаимодействия физического объекта с его ЦД с указанием основных процессов, необходимых для обеспечения взаимодействия.

Далее представлены возможные варианты ЦД, которые применимы как по отношению к изделию, так и всей ПС, включая оборудование. Данные варианты ЦД можно создавать по отдельности в качестве пилотных проектов, а можно объединить в одну систему с помощью интеграций между отдельными подсистемами или создания одной комплексной системы.

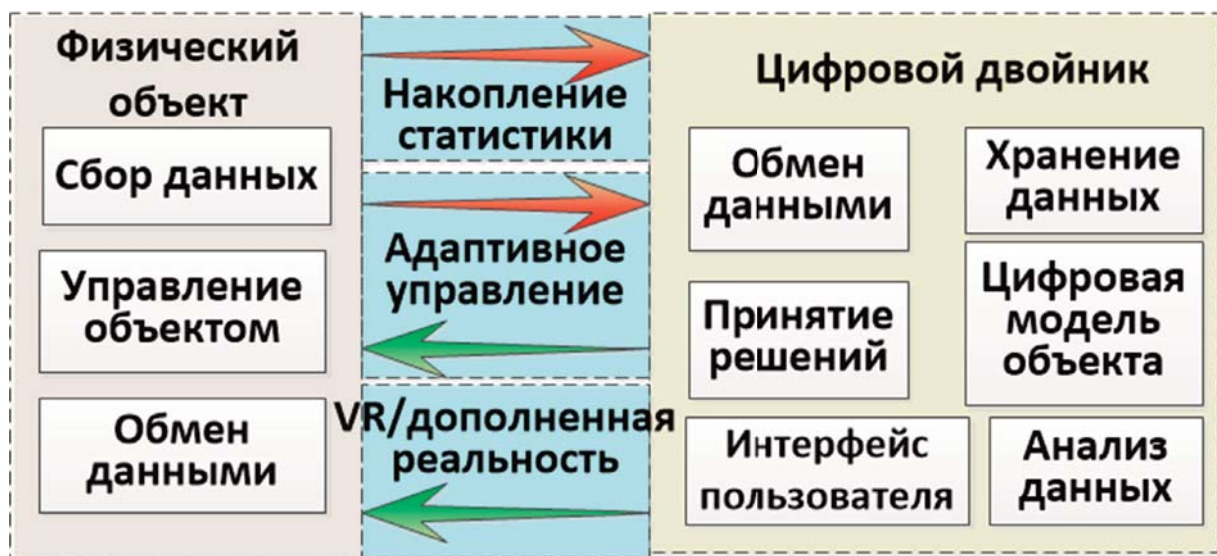


Рис. 2 Схема взаимодействия физического объекта с его цифровым двойником



Цифровой двойник на этапе проектирования

Использование распространенных CAD/CAM/CAE-систем автоматизации при проектировании и изделия, и ПС, на данный момент стало привычным явлением. На этапе проектирования параметры, заносимые в подобные системы, 3D модели, история виртуального изделия и др. формируют первичную версию ЦД (виртуальную модель), основанную на проектной документации. Виртуальное изделие можно использовать для виртуальных тестов, моделировать производственный процесс, этапы эксплуатации, вносить корректировки и далее отправлять в производство.

Многие российские и зарубежные производственные компании (ПАО «КамАЗ», Siemens, ФГУП «НАМИ», АО «ОДК», Safran, ООО «Саровский инженерный центр», Ford, Apple, Google, GE Digital, BASF, ПАО «ОАК» и др.) используют цифровые модели для проектирования и выпуска новых изделий [12]. Однако в большинстве случаев после получения готового продукта виртуальную модель отправляют в архив. В концепции ЦД виртуальная модель не просто архивируется после создания материального объекта, а используется на протяжении всего ЖЦ изделия и ПС: на этапе испытаний, доработки, эксплуатации и утилизации.

Цифровой двойник на этапе производства

ЦД изделия и ПС в процессе производства можно рассматривать как электронный паспорт объекта, в котором в режиме реального времени фиксируются значения заранее выбранных параметров. В нем можно хранить данные об использованных при производстве сырье, материалах, произведенных операциях, испытаниях, окружающей среде, лабораторных исследованиях и других параметрах, накапливая «историю изделия». Это значит, что вся информация, начиная с чертежей и технологии производства и заканчивая правилами техобслуживания и утилизации, будет оцифрована и доступна для считывания устройствами и людьми, имеющими доступ к соответствующей информации.

На этом этапе можно выделить три основных способа применения ЦД, которые могут существовать обособленно или вместе: сбор данных для накопления статистики и дальнейшего анализа состояний ПС, оборудования и самого изделия; сбор данных для анализа в режиме реального времени и информирования рабочих об отклонениях; сбор данных для анализа в режиме реального времени и автоматической адаптации режимов обработки изделия в зависимости от входных параметров изделия перед каждой операцией (адаптивное управление производственным процессом).

Цифровой двойник изделия на этапе эксплуатации

Датчики, расположенные в зоне, допустимой для сбора необходимой информации об объекте, фиксируют данные о состоянии объекта в реальном времени и отправляют ЦД. На основе полученных данных уточняется цифровая модель, которая, в свою очередь, дает рекомендации по оп-

тимизации режима эксплуатации и обслуживания реального объекта

В случае обнаружения отклонений или значений, сигнализирующих о потенциальном отклонении, ЦД информирует пользователя о возникшей ситуации.

**Таблица 1. Виды и особенности ТОиР**

ВЗ0 ид ТОиР	Особенность
ТО по событию (ТОС), реактивное	Замена вышедших из строя деталей по факту их поломки, что приводит к простоям оборудования и задержкам в выпуске изделий
Планово-предупредительный ремонт (ППР)	В отечественной практике наиболее распространенный на данный момент вид ТО. Подразумевает замену деталей через среднестатистические промежутки времени наработки на отказ. Таким образом, даже детали с достаточным запасом прочности подлежат замене
Обслуживание по фактическому состоянию (ОФС)	Наиболее передовой вид ТО. Подразумевает оценку технического состояния оборудования по совокупности данных собираемых с датчиков и определения оптимальных сроков проведения ремонтных работ

Цифровой двойник оборудования.

В состав ЦД ПС входят ЦД каждого отдельного оборудования, входящего в рассматриваемую ПС. ЦД оборудования можно использовать как для сбора информации о качестве проведенной обработки изделия, так и для сбора информации о состоянии оборудования, поскольку любое оборудование нуждается в техническом обслуживании и ремонте (ТОиР). Виды и особенности ТОиР представлены в табл. 1.

По данным Министерства энергетики США (2017 г.) ключевые показатели эффективности

(КПЭ) при применении ОФС могут достигать следующих показателей [13]: расходы на ТО – сокращение на 25%; количество аварий – сокращение на 70%; время незапланированного простоя – сокращение на 35%; производительность – повышение на 20%.

ОФС является следствием применения ЦД оборудования и всей ПС и позволяет в режиме реального времени собирать и анализировать данные о состоянии деталей оборудования с учетом режимов их работы, условий окружающей среды и других параметров.

Цифровой двойник производственной системы

При создании нового изделия, для которого требуется создание новой ПС, ЦД такой ПС может смоделировать производство изделия в виртуальной среде. Для этого необходимо передать данные о новом изделии на стадии проектирования в ЦД ПС. Затем запустить процесс моделирования выпуска изделия. Если будут отклонения, система выявит их на этапе тестового моделирования и позволит избежать значительных затрат, связанных с изменением вновь созданной ПС, как это было бы без ЦД ПС. При этом заметно экономится время и закладывается основа для гибкого производства, поскольку даже

самые сложные производственные маршруты можно быстро рассчитать, протестировать и запрограммировать с минимумом затрат и усилий.

Далее на этапе функционирования ПС и выпуска изделий ЦД ПС помогает контролировать все необходимые параметры изделия, оборудования и всей системы в целом. Для этого датчики IoT непрерывно собирают информацию о значениях параметров объекта и передают ее на обрабатывающее устройство. Таким образом, можно непрерывно в режиме реального времени контролировать качество каждого изделия на любом этапе производства, адаптировать режимы



Рис. 3 Структурная схема цифрового двойника производственной системы

обработки деталей и сборочных единиц (ДСЕ) изделия на отдельной операции для уменьшения из-

носа оборудования, инструмента и повышения качества обработки.

Структурная схема системы создания цифрового двойника производственной системы

На рис. 3 представлена укрупненная структурная схема ЦД ПС. В данную схему входят системы, подсистемы, физические и цифровые элементы, процессы и каналы взаимодействий между системами и элементами. Для создания ЦД ПС необходима программная среда (приложения и сервисы), в которых будет содержаться информация об элементах производства и сами элементы производства как физические объекты: персонал, оборудование, материал, процесс,

инфраструктура, условия эксплуатации, продукт. Для передачи информации от физических объектов в ЦД необходима система сбора и обмена данными.

В качестве систем сбора и передачи данных можно использовать технологию «интернет вещей». Для работы с данными необходимо соответствующее программное обеспечение (ПО), способное выполнять поставленные задачи.

Создание ЦД на базе существующих систем автоматизации

В настоящее время существуют разрозненные системы автоматизации, предназначенные для работы в цифровой среде на определенном этапе создания объекта. Некоторые системы автоматизации

позволяют работать только в разрезе проектирования изделия (CAD), некоторые позволяют отслеживать состояние производственной системы и изделия в процессе производства

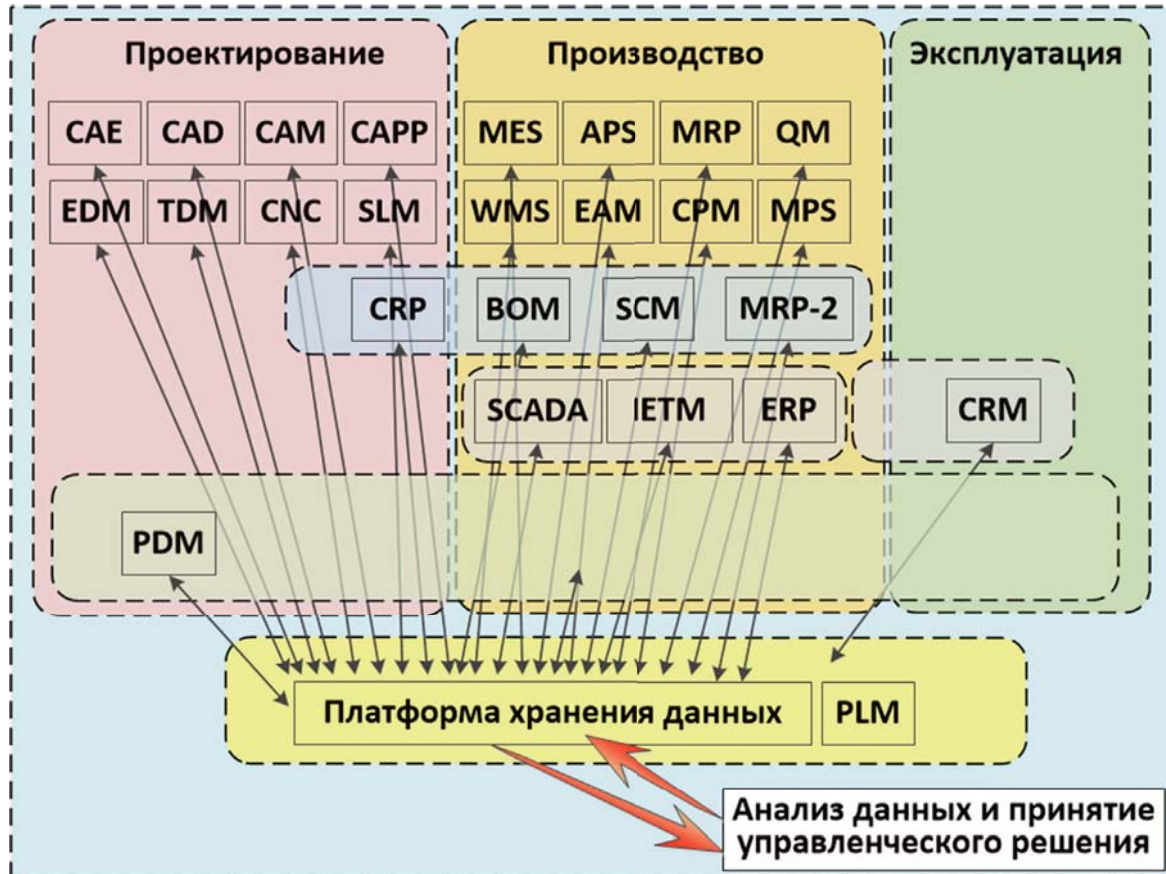


Рис. 4 Схема взаимодействия систем автоматизации между собой с помощью платформы хранения данных

(SCADA). Существуют классы систем, которые позволяют собрать данные вместе (PDM, PLM и др.), но чаще всего это достигается путем интеграции одной системы в другую, вследствие чего данные передаются, но полученная система лишена гибкости. В случае расширения функционала одной из подсистем, интеграцию придется дописывать отдельно. Однако они не подходят для анализа и управления ЖЦ ПС.

Комплекс объектов, обеспечивающих системы автоматизации необходимыми данными, обычно делятся на системы трех уровней: нижний, средний и верхний [14]: нижний уровень – датчики и исполнительные механизмы (сбор информации, обработка изделия, взаимодействия с физическими объектами); средний уровень – контроллеры (прием входных данных; первичная обработка данных; автоматическое формирование и выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы; обмен информацией с верхним уровнем); верхний уровень – системы

автоматизации. На верхнем уровне происходят сбор, обработка (в том числе анализ) и хранение информации, полученной на среднем уровне; визуализация текущей и архивной информации в удобном оператору виде; ввод команд оператора; формирование отчетности о результатах технологического процесса; обмен информацией с верхним уровнем.

Для обеспечения наиболее простого и экономически выгодного способа построения ЦД ПС ШБ и взаимодействия систем верхнего уровня предлагается агрегировать и хранить данные с систем всех уровней на одной платформе хранения данных (ПХД). Принцип действия похож на работу PLM (Product Lifecycle Management) системы. Однако в данной ситуации рассматриваются не изделия, а ПС, и функционал платформы отличается от классического функционала PLM-системы. Также на ПХД происходит формирование Больших данных и их анализ.

**Таблица 2. Условия создания ЦД ПС и доступные возможности**

Составляющая ЦД ПС	Требуемые технические условия	Способы получения и обработки данных	Возможности
ЦД изделия	Оборудование для фиксации параметров в зависимости от операции. Оборудование для передачи/приема данных. Канал передачи данных	IoT; неразрушающий контроль; анализ нейросетью; триангуляция на местности	Мониторинг состояния изделия, контроль: качества изделия; сроков производства; перемещений
ЦД оборудования	Оборудование для фиксации параметров в зависимости от операции. Оборудование для передачи/приема данных. Канал передачи данных	IoT; вибродиагностика; анализ нейросетью; триангуляция на местности	Мониторинг состояния оборудования, контроль: режимов обработки; сроков производства; перемещений оборудования; исполнителей на операциях. Увеличение срока службы оборудования
ЦД производственного процесса	Оборудование для фиксации параметров в зависимости от операции. Оборудование для передачи/приема данных. Канал передачи данных	IoT; анализ нейросетью; триангуляция на местности	Контроль режимов обработки. Контроль состояния окружающей среды. Контроль действий рабочих

Чтобы создать ЦД ПС, необходимо запустить анализ данных в системе верхнего уровня. Для этого требуется собрать и объединить данные с трех составляющих: изделие; процесс обработки изделия; состояние оборудования.

Информацию об изделии можно получать из PLM-системы. Информацию о состоянии оборудования из ERP-системы. А для того, чтобы получить ЦД ПС, необходимо соотнести между собой информацию об изделии в конкретный момент времени в процессе обработки, о состоянии оборудования в этот момент, об оперативных данных про режимы обработки и о состоянии окружающей среды. При этом данные, которые не фиксируются в существующих системах автоматизации, но необходимы для создания ЦД ПС, собираются системами нижнего и среднего уровня и напрямую отправляются на ПХД. Все данные на ПХД в любой момент доступны всем существующим системам автоматизации и пользователю.

Предлагаемая схема взаимодействия систем автоматизации через ПХД представлена на рис. 4.

Внутри ПХД системы автоматизации верхнего уровня взаимодействуют между собой по API. Платформа в автоматическом режиме следит за форматом данных от вновь подключаемых систем нижнего и среднего уровня для того, чтобы они были доступны всем системам верхнего уровня. В какой-то степени принцип работы такой платформы похож на хостинг, однако, на ней происходит самое главное для управления ЖЦ ПС – анализ Больших данных и принятие управленческого решения (человеком, на основе результатов анализа). Для этого ПХД сама является системой верхнего уровня и у нее существует пользовательский интерфейс. ПХД может храниться как на собственном сервере предприятия (или арендованном), так и на облачных системах.

В перспективе подразумевается, что ПХД будет создана как самообучающаяся система



и с определенного момента начнет подсказывать, какое управленческое решение можно принять в зависимости от конкретной ситуации. В дальнейшем необходимо стремиться к полной автоматизации принятия решений силами системы по «рутинным» задачам.

Благодаря фиксации данных о трех составляющих (изделие, оборудование, процесс) и анализу собранных данных появляется возможность управления ЖЦ ПС. Пример необходимых условий и возможностей для способов сбора, обработки данных и формированию ЦД с помощью систем трех уровней рассмотрены в табл. 2.

В результате накопления данных со временем будут формироваться Большие данные и появится возможность не только для предиктивных действий оператора, позволяющих предотвра-

тить ситуацию с негативными последствиями в будущем, но и для предиктивных действий в автоматическом режиме, которые предпримет алгоритм платформы верхнего уровня. Таким образом, появляется возможность для адаптивного управления ПС.

При этом данные о состоянии оборудования в ЦД передаются с указанием деталей, в которых наблюдается отклонение в результате проведенной диагностики [15, 16].

Таким образом, проблема отсутствия возможности осуществления непрерывного массового контроля качества изделий во время производственного процесса, а также возможность адаптивного управления производственной системой на основе фактических параметров решается при внедрении ЦД ПС.

Результат применения ЦД ПС

Благодаря тому, что все данные ЦД находятся на одной платформе, параметры ПС, собранные на любой стадии ЖЦИ, доступны всем пользователям в режиме реального времени. Анализ Больших Данных позволяет использовать ЦД как для корректировки текущего производственного процесса, так и для разработки нового изделия с учетом собранных фактических производственных и эксплуатационных данных.

Управление ЖЦ ПС становится более прозрачным, а принятие решений более взвешенным. Для любых групп пользователей разграничивается доступ к информации по правам доступа. На основе собранных данных строятся отчеты по различным показателям: производительность, уровень брака, экономические показатели, состояние ПС и отдельного оборудования, остаточный ресурс по каждому элементу ПС, эффективность работы специалистов и др.

Библиографический список

1. Эффект пандемии: почему спад мировой экономики из-за коронавируса может оказаться хуже кризиса 2008 года [Электронный ресурс] // RT: [сайт]. [2020]. URL: <https://russian.rt.com/business/article/731992-mirovaya-ekonomika-krizis> (дата обращения: 15.06.2020).
2. Дэвид И. Блум, Дэниэл Кадаретт, Х. П. Севилья. Новые и возрождающиеся инфекционные заболевания могут иметь далеко идущие экономические последствия. // Международный валютный фонд. Финансы и развитие. 2018. URL: <https://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/fandd/2018/06/pdf/bloom.pdf> (дата обращения: 15.06.2020).
3. Top Trends from Gartner Hype Cycle for Digital Government Technology [Электронный ресурс] // Gartner [сайт]. [2019]. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-from-gartner-hype-cycle-for-digital-government-technology-2019/> (дата обращения: 15.06.2020).

4. Цифровая Россия: новая реальность // Digital McKinsey [сайт]. [2017]. URL: https://www.mckinsey.com/ru/~/_/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx (дата обращения: 15.06.2020).
5. Рахмилевич Е. Г., Дементьев Д. А., Черемисин Д. А., Новиков П. П. и др. Техническое перевооружение предприятий ракетно-космической промышленности // РИТМ машиностроения. 2018. – № 4. С. 26–30.
6. Ковков Д.В., Рахмилевич Е.Г., Приходько Н.В., Дементьев Д.А., Шурко А.Н., Шепелева В.Ю. Техническое перевооружение предприятий ракетно-космической промышленности в условиях перехода к цифровому производству. // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. Т. 8. № 2. – С. 99–108.
7. ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения.
8. Проектирование машиностроительного производства: учебник для вузов / В.П. Вороненко, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе; под ред. чл.-корр. РАН Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2006. – 380 с.
9. ГОСТ Р 57193-2016 Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
10. Системная инженерия. Принципы и практика. Пер. с англ., под ред. В. К. Батоврина. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 624 с.
11. Серия предварительных стандартов в области Умного производства [Электронный ресурс] // Технический комитет 194 Кибер-физические системы. [2020]. URL: http://tc194.ru/industrial_public (дата обращения: 25.04.2020).
12. Глобальное исследование цифровых операций в 2018 г. Цифровые чемпионы // PwC Strategy&. 2018. – С. 41.
13. Цифровой двойник [Электронный ресурс] // CADFEM: [сайт. URL: <https://www.cadfem-cis.ru/products/digital-twin> (дата обращения: 15.06.2020).
14. Константинов Ю.В., Некрутов В.Г., Константинов В.Д. Анализ современных SCADA-систем // Наука ЮУрГУ [Электронный ресурс]: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – С. 1734–1740.
15. Цырков А.В., Юрцев Е.С., Рахмилевич Е.Г., Савинов Ю.И. Цифровые двойники в управлении предприятием // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». 2019. № 9.– С. 70–79.
16. Дегтярев Б.Д., Рахмилевич Е.Г. Современные подходы к повышению эффективности эксплуатации технологического оборудования в условиях мелкосерийного и позаказного производства на базе автономных производственных модулей // Главный механик. 2019. № 8.– С. 20-25.

Информация об авторах:

Рахмилевич Евгений Георгиевич – заместитель директора центра технологического развития РКП ФГУП «НПО «Техномаш». Тел.: +7 (929) 584-75-24
E-mail: eugene5089@mail.ru

Каргапольцев Дмитрий Михайлович – студент кафедры «Экономика и организация производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана, практикант ФГУП «НПО «Техномаш». Тел.: +7 (916) 393-63-15
E-mail: kargapolcev18@gmail.com

Information about the authors:

Rakhmilevich Evgeniy Georgievich – Deputy Director of FSUE «NPO «Technomash»'s Technology Development Center of the Aerospace Industry. Tel.: +7 (929) 584-75-24
E-mail: eugene5089@mail.ru

Kargapolcev Dmitrii Mikhailovich – student of «Economics and Manufacturing Process Management» Department of Bauman Moscow State Technical University, FSUE «NPO «Technomash» intern. Tel.: +7 (916) 393-63-15
E-mail: kargapolcev18@gmail.com



◆ ЭЛЕКТРОННАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ

УДК 629.7:004

*Должанский Ю.М., Илингина А.В., Корнилов В.А.,
Камалдинов А.М., Франц М.В., Хруцкая М.В.*

Информационные электронные паспорта на технологии и специальное оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2019 году (продолжение¹)

Приведены план разработки в 2019 году информационных электронных паспортов на технологии и специальное технологическое оборудование для машиностроительного, двигательного и приборостроительного производств ракетно-космической промышленности и основные фрагменты паспортов, оформленных в III–IV кв. 2019 г.

Ключевые слова: информационный паспорт, технологическое оборудование, тонкостенные трубы, волновод, гибка труб прямоугольного сечения, производство гироскопических приборов, бескорпусные двигатели, карданов подвес.

*Dolzhanский Y.M., Ilingina A.V., Kornilov V.A., Kamaldinov A.M.,
Franz M.V., Hrutsкая M. V.*

Electronic Informational Data Sheets on Technologies and Special Equipment Developed by FSUE «NPO «Technomash» in 2019 (Continued²)

The development plan for 2019 of electronic informational data sheets on technologies and special process equipment for machinery, engine and instrument production of the aerospace industry and main data sheet fragments issued in the III-IV quarter of 2019 are presented.

Keywords: informational data sheet, process equipment, thin-walled tubes, waveguide, rectangular tube bending, gyroscopic instrument production, frameless motors, gimbal mounting

В продолжение оперативного информирования предприятий отрасли сведениями о новых технологиях и специальном технологическом оборудовании, разрабатываемом ФГУП «НПО «Техномаш» для машиностроительного и двигательного

производств ракетно-космической промышленности [1-8], приведены план подготовки соответствующих электронных паспортов в 2019 году и содержательная информация паспортов, разработанных и утвержденных в III–IV кв. 2019 г.

¹ «Технология машиностроения», 2020, № 4, С. 68-73.

² See «Вестник «НПО «Техномаш», 2020, № 1.



1. Технологии и оборудование, паспортизованные в 2019 г.	
Наименование технологии (оборудования)	№№ паспорта
1. Специальное технологическое оборудование для неповоротной кольцевой приварки автоматической дуговой сваркой в среде инертных газов концевых элементов к трубопроводам сложной конфигурации из нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов	П213/19
2. Специальный станок для гибки тонкостенных волноводных труб прямоугольного сечения	П228/17/19
3. Специальное технологическое оборудование для дуговой сварки в среде инертных газов с газодинамическим воздействием на сварочную ванну конструкций из сталей и алюминиевых сплавов	П232/19
4. Стенд ускоренных ресурсных испытаний силовых гироскопических комплексов космических аппаратов	П237/19
5. Стенд автоматизированного контроля качества изготовления бескорпусных двигателей разгрузки рам карданова подвеса гироплатформ	П238/19
6. Программно-математическое обеспечение аппаратно-программного комплекса информационного сопровождения производственных испытаний пневмогидравлических систем ЖРДУ	П239/19
7. Специальное технологическое оборудование для нанесения покрытий с высокой электропроводностью на внутренние поверхности волноводных элементов сложной пространственной конфигурации	П240/19
8. Инструмент типа «BOBBIN-TOOL» для фрикционной сварки листовых заготовок	П249/19
9. Специальное технологическое оборудование для пайки тонкостенных трубопроводов	П250/19
10. Технология электронно-лучевой сварки тепловых труб для космических аппаратов (КА)	П251/19
11. Специальное технологическое оборудование для фрикционной сварки малогабаритных ёмкостей, узлов и агрегатов изделий РКТ	П252/19

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 228/17/19³

Специальный станок для гибки тонкостенных волноводных труб прямоугольного сечения

Разработчик и поставщик:

ФГУП «НПО «Техномаш»

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва, 127018, Россия

Уровень готовности технологии (по ГОСТ Р 57194.1-2016) – УГТ6

Общие сведения:

Станок предназначен для производства и обеспечения качества криволинейных труб прямоугольного сечения антенно-фидерных устройств (АФУ) перспективных космических аппаратов (КА).

В оборудовании реализован способ гибки намоткой на вращающийся шаблон (рис. 1), позволяющий в автоматизированном режиме получать трубопроводы сложной пространственной формы с несколькими изгибами в разных плоскостях и высоким качеством конечных изделий.

Последовательность операций и специальные устройства, обеспечивающие требуемое качество изготавливаемых изделий:

– изгибаемая труба (1) зажимается прижимной матрицей (2), которая поворачивается вместе с гибочным шаблоном (3) вокруг его оси, наматывая трубу на гибочный шаблон;

– для предотвращения образования при гибке на малые радиусы разрывов на внешней стороне изгибаемой трубы и уменьшения утонения стенки применяется бустер (4), который при гибке прижимается к изгибаемой трубе и дви-

жется в направлении движения трубы, проталкивая материал и уменьшая возможное утонение;

– для предотвращения искажений поперечного сечения внутрь изгибаемой трубы заводится специальная калибрующая оправка-дрон (5);

– для предотвращения гофрообразования на внутренней сторонегиба с противоположной стороны от бустера устанавливается выплаживатель (6), заполняющий пространство между изгибаемой трубой и шаблоном, что препятствует образованию гофр.

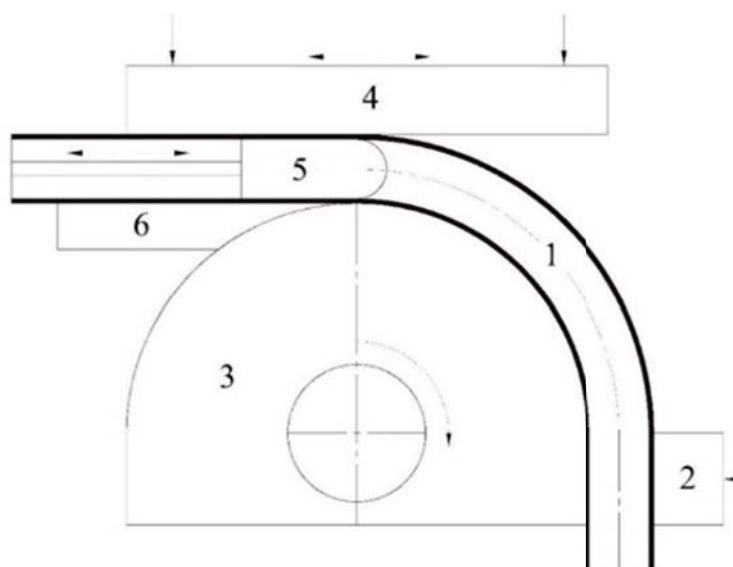


Рис. 1. Схема гибки труб намоткой на шаблон

³ Информационный паспорт ФГУП «НПО «Техномаш» П228/17/19.doc

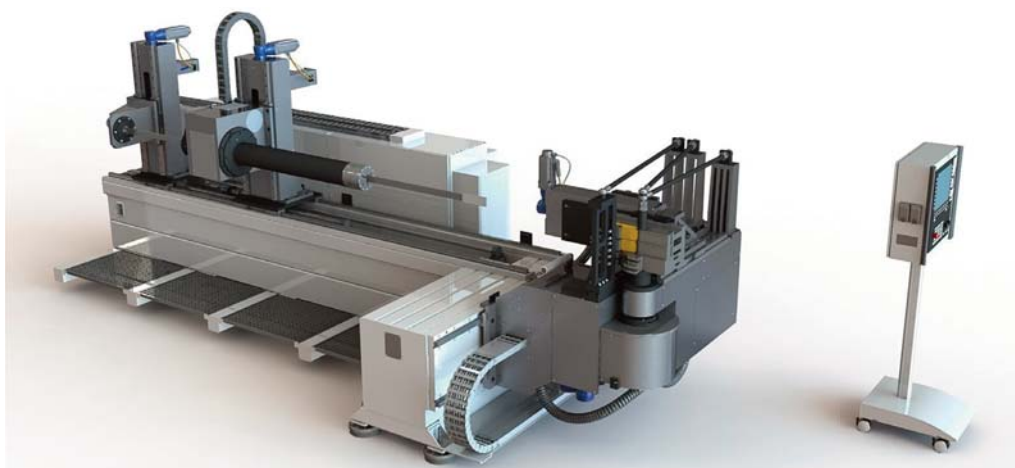


Рис. 2. 3D-компоновка станка

Станок оснащён системой ЧПУ на базе современных сервоприводов, обеспечивающих высокую скорость и точность его работы, а также

позволяет эксплуатировать станок в цехах, где недопустимы утечки масла (в частности).

Облик станка приведен на рис. 2.

Наличие аналогов:

- в России: аналогов нет;
- за рубежом: сведений об аналогах нет.

2. Технические характеристики

Характеристики	Значения
Габариты, мм: – длина, не более	1500
Размеры сечений: – минимальный – максимальный	10,67×4,32 61,00×10,00
– максимальное количество гибов с одного установка трубы на станке	5
Радиусыгиба (по средней линии трубы), мм: – минимальный – максимальный	10 120
– максимальный уголгиба, град.	90
Погрешности геометриигиба: – по радиусугиба, мм, не более – по углугиба, угл.мин., не более	± 0,1 ± 0,5
Допустимое утонение стенки деформируемого участка трубы, % от номинальной толщины трубы, не более	30
Отклонение номинальных размеров сторон внутреннего сечения трубы в местахгиба, мм, не более: – в сторону уменьшения размера – в сторону увеличения размера	0,2 0,3



Допускаемая волнистость и вмятины на длине 100 мм от местагиба, мм, не более	0,2
Шероховатость трубы Ra, не более:	
– в местахгиба	0,8
– на недеформируемых при гибке участках	0,63
– питание, В×Гц	220×50
– потребляемая мощность, кВт	38
– габариты станка, мм	5700×2500×2400
Масса станка, кг	7600
Минимальная площадь размещения комплекта оборудования, м ²	45

Техническая документация:

- РКД (ТМКД 8.53.395.00.00.000 СБ).
- Паспорт (ТМКД 8.53.395.00.00.000 ПС)
- Руководство по эксплуатации (ТМКД 8.53.395.00.00.000 РЭ).
- Технические условия (ТМКД 8.53.395.00.00.000 ТУ).

Предприятие, на котором планируется внедрение оборудования:

- АО «ИСС им. академика М.Ф.Решетнёва» (2021).

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 237/19⁴

Стенд для ускоренных ресурсных испытаний силовых гироскопических комплексов систем управления космических аппаратов

Разработчик и поставщик:

ФГУП «НПО «Техномаш»

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва 127018, Россия

Уровень готовности технологии (по ГОСТ Р 57194.1-2016) – **УГТ6**

Общие сведения:

Стенд (рис. 3) предназначен для проведения ускоренных ресурсных испытаний силовых гироскопических комплексов космических аппаратов.

Сокращение цикла испытаний реализуется за счёт увеличения нагрузки на опоры испытываемого изделия гироскопическим моментом, создаваемым вращением в горизонтальной плоскости места его закрепления.

Разработанное оборудование является универсальным и может использоваться в

производстве разного рода изделий военной и другой специальной техники, в составе которых применяются гироскопические двигатели.

Сведения об аналогах:

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

⁴ Информационный паспорт ФГУП «НПО «Техномаш» П237/19.doc.

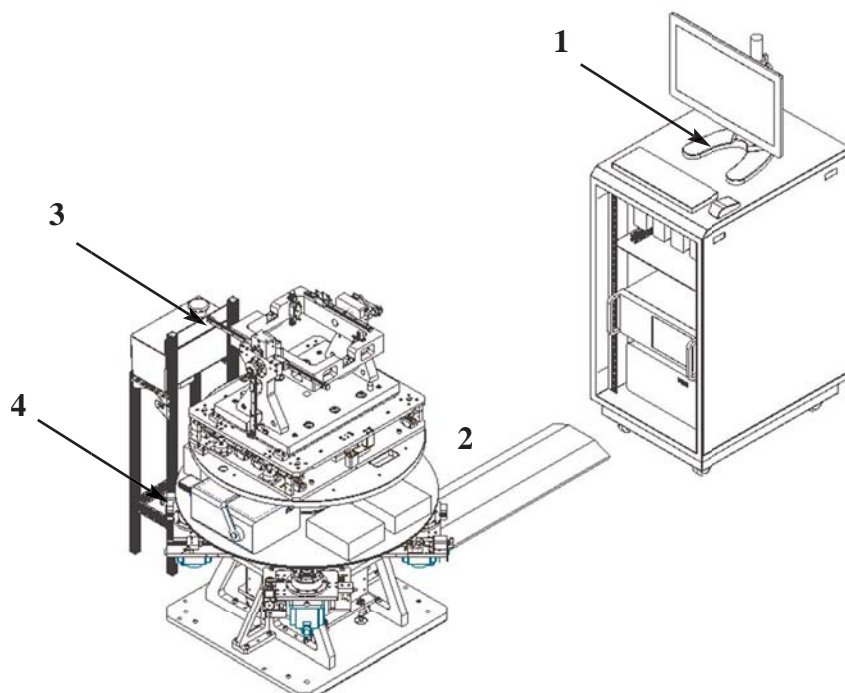


Рис. 3. 3D-компоновка основных устройств стенда: 1 – стойка управления; 2 – стол поворотный с приводом; 3 – блок системы защиты от заклинивания; 4 – блок системы смазки

3. Технические характеристики	
Характеристики	Значения
– максимальные габариты испытываемых приборов, мм	290×360×290
– максимально допустимая нагрузка на поворотный стол стенда, кг	100
– диапазон скоростей вращения поворотного стола, град./с	0– 60
– количество осей вращения стола	1
– момент оси вращения, Нм, не более	110
Габариты основных элементов стенда, мм	
– стойка управления, мм	600×800×1725
– стол поворотный в сборе, мм	1000×1000×1420
– блок системы смазки, мм	365×238,5×1100
– площадь размещения комплекта оборудования, м ²	20

Техническая документация:

- РКД ТМКБ.9.54.407.00.00.000;
- ведомость эксплуатационной документации ТМКБ.9.54.407.00.00.000 ВЭ;
- руководство по эксплуатации ТМКБ.9.54.407.00.00.000 РЭ;
- паспорт ТМКБ.9.54.407.00.00.000 ПС;
- комплект ЗИП ТМКБ.9.54.47.99.00.000;
- специальное программное обеспечение на CD-R.

Предприятия, на которых планируется внедрение технологии (оборудования):

- АО «НИИ командных приборов» (2020).

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 238/19⁵

Стенд МДБ автоматизированного контроля качества изготовления бескорпусных двигателей разгрузки рам карданова подвеса гиropлатформ

Разработчик и поставщик:

ФГУП «НПО «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, а/я 131, Москва 127018, Россия.

Уровень готовности технологии (по ГОСТ Р 57194.1 - 2016) – УГТ-7

Общие сведения:

Стенд МДБ (рис. 1) разработан в обеспечение возросших требований к системам управления изделий ракетно-космической техники (РН, РБ и КА) по надёжности и точности штатных и перспективных гиropлатформ, достигаемых, в частности, за счёт использования для стабилизации рам кардановых подвесов этих платформ так называемых бескорпусных двигателей (ДБ).

Контроль качества изготовления ДБ на стенде осуществляется измерением компенсационным методом их вращающих моментов.

Входящий в состав стенда специальный преобразователь моментов трансформирует вращающие моменты ДБ в электрические сигналы, которые усиливаются в блоке электроники и расшифровываются с использованием специального программно-математического обеспечения (СПМО), разработанного ФГУП «НПО «Техномаш» для штатных промышленных персональных компьютеров.

Программно-математическое обеспечение стенда:

- обрабатывает сигналы, поступающие из блока электроники на компьютер и выдаёт значения моментов вращения, создаваемых контролируемыми ДБ;
- управляет приводом поворота статора, контролируемого ДБ;
- идентифицирует сигналы, соответствующие углу поворота статора относительно ротора;
- обеспечивает оперативный вывод информа-

ции по контролю ДБ на экран дисплея оператора (в виде графиков и числовых значений), её архивирование и хранение.

Разработанное оборудование является универсальным и может использоваться в производстве изделий военной и другой специальной техники, в составе которых применяются бескорпусные гироскопические двигатели.

Общий вид и состав основных конструктивных блоков стенда представлены на рис. 4.

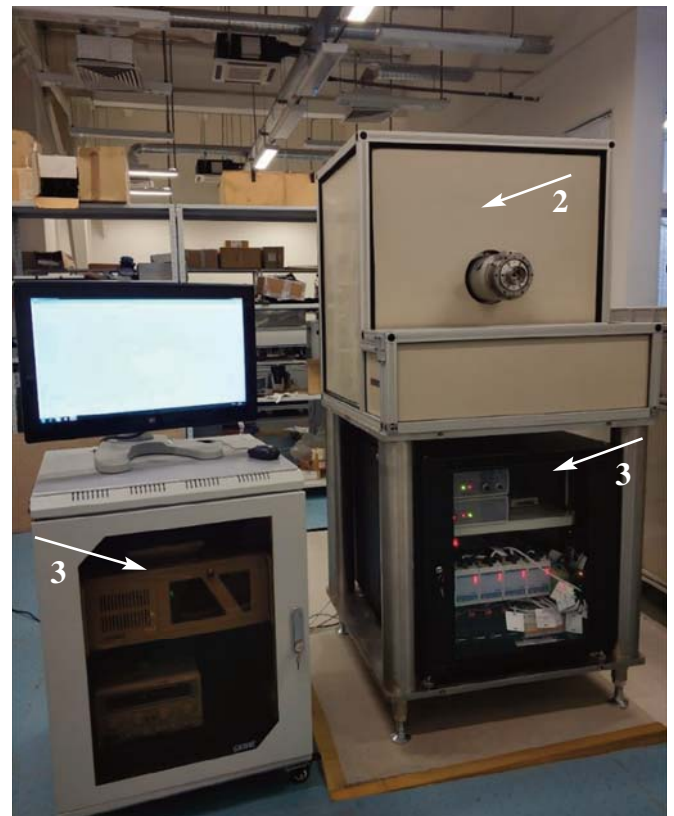


Рис. 4. Опытный образец стенда МДБ (лабораторный участок ФГУП «НПО «Техномаш»): 1 – рабочая стойка оператора; 2 – блок преобразователя моментов; 3 – блоки электроники и питания

⁵ Информационный паспорт ФГУП «НПО «Техномаш» П283/19.doc.

Сведения об аналогах:

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

4. Технические характеристики	
Характеристики	Значения
Определяемый момент вращения, Нм, не более	0,02
Относительная погрешность определения величины вращающего момента, %, не более	1
Погрешность определения угла положения ротора, град., не более	0,5
Питание, ВхА	20×50
Габариты основных блоков стенда, мм	
– рабочая стойка оператора	600×600×1354
– блок преобразователя моментов	821×831×821
– блок электроники	306×198×88
– блок питания	328×198×86
Минимальная площадь размещения комплекта блоков стенда, м ²	18
Гарантийный срок штатной эксплуатации стенда, мес., не менее	12
Общий срок штатной эксплуатации, лет	5

Техническая документация:

- КД ТМКБ.9.54.408.00.00.000;
- Руководство по эксплуатации ТМКБ.9.54.408.00.00.000 РЭ;
- Паспорт ТМКБ.9.54.408.00.00.000 ПС;
- специальное программное обеспечение на CD-R.

Научные публикации:

- Камалдинов А.М., Аксёнов Е.Г. «Оборудование для контроля качества бескорпусных двигателей» // Вестник «НПО «Техномаш», 2018. №8. – С. 69–70.

Предприятия, на которых планируется внедрение оборудования (технологии):

- АО «НИИ командных приборов» (2020).

Библиографический список

1. Бараев А.В., Должанский Ю.М. и др. Информационные паспорта на технологии и специальное технологическое оборудование машиностроительного производства РКП // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2016. № 2. – С. 59–64.
2. Бараев А.В., Должанский Ю.М. Электронная паспортизация специального оборудования и производственных технологий, разработанных ФГУП «НПО «Техномаш» в 2010-2015 гг. // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2017. № 3. – С. 72–75.
3. Бараев А.В., Камалдинов А.М., Должанский Ю.М. Информационные электронные паспорта на технологии и оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2016 году. // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2017. № 3. – С. 66–71.



4. Бараев А.В., Должанский Ю.М., Илингина А. В. Электронная паспортизация технологий и специального оборудования РКП // Технология машиностроения. – 2018. № 5. – С. 56–60.

5. Бараев А.В., Должанский Ю.М. Информационные электронные паспорта на технологии и специальное оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2017 году // НТБ Вестник «НПО «Техномаш». – 2018. № 6. – С. 76–80.

6. Бараев А.В., Должанский Ю.М., Илингина А.В. Технологии и специальное оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2018 году // Сварочное производство. – 2019. № 6. – С. 52–56.

7. Бараев А.В., Должанский Ю.М., Илингина А.В. Информационные электронные паспорта на технологии и специальное оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2018 году // Технология машиностроения. – 2019. № 6. – С. 61–68.

8. Бараев А.В., Должанский Ю. М. Илингина А. В. Информационные электронные паспорта на технологии и специальное оборудование, разработанные ФГУП «НПО «Техномаш» в 2019 году // Технология машиностроения. – 2020. № 4. – С. 68–73.

Информация об авторах:

Должанский Юрий Михайлович –
д-р техн. наук, главный научный сотрудник
ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8 (495) 689-97-04, доб. 24-27

E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Илингина Алла Валерьевна –
начальник отделения ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689-96-90

E-mail: a.ilingina@tmnpo.ru

Корнилов Виталий Александрович –
канд. техн. наук, начальник отделения
ФГУП «НПО «Техномаш»

Тел.: 8(495) 689-96-90

E-mail: V.Kornilov@tmnpo.ru

Камалдинов Альберт Мубаракovich –
канд. техн. наук, начальник отделения
ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689-96-90.

E-mail: A.Kamaldinov@tmnpo.ru

Франц Максим Валерьевич –
начальник отдела ФГУП «НПО «Техномаш»

Тел.: 8(495) 689-96-90

E-mail: M.Franc@tm.fsa

Хруцкая Мария Владимировна –
ведущий инженер-технолог
ФГУП «НПО «Техномаш»

Тел.: 8(495) 689-96-90

E-mail: M.Hruckaja@tmnpo.ru

Information about the authors:

Dolzhanskiy Yurii Mikhailovich –
Doktor Nauk, Chief Research Scientist
of FSUE «NPO «Technomash»

Tel.: 8 (495) 689-97-04, extension number. 24-27

E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Ilingina Alla Valeryevna –
Head of Department of FSUE «NPO «Technomash»

Tel.: 8(495) 689-96-90

E-mail: a.ilingina@tmnpo.ru

Kornilov Vitaliy Alexandrovich –
Ph.D. in Engineering Sciences,
Head of Department of FSUE «NPO «Technomash».

Tel.: 8(495) 689-96-90

E-mail: V.Kornilov@tmnpo.ru

Kamaldinov Albert Mubarakovich –
Ph.D. in Engineering Sciences, Head of Department
of FSUE «NPO «Technomash».

Tel.: 8(495) 689-96-90

E-mail: A.Kamaldinov@tmnpo.ru

Franz Maksim Valeryevich –
Head of Department of FSUE «NPO «Technomash».

Tel.: 8(495) 689-96-90

E-mail: M.Franc@tm.fsa

Hrutskaya Maria Vladimirovna –
Leading Process Engineer
of FSUE «NPO «Technomash».

Tel.: 8(495) 689-96-90

E-mail: M.Hruckaja@tmnpo.ru



◆ СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ

УДК 629.78:006

Круглов И.А., Рябчиков П.В.

Научно-техническое сопровождение при изготовлении и испытаниях второго летного изделия РН «Ангара-А5»

Статья посвящена результатам выполнения научно-технического сопровождения при изготовлении и испытаниях второго летного изделия РН «Ангара-А5». Материалы представляют интерес для специалистов ракетно-космической промышленности в области качества и надежности, а также для разработчиков изделий ракетно-космической техники и других специалистов отрасли. Выполненная по этапу №1 работа по анализу извещений (ИИ, ДИ, ПИ, ДПИ) об изменении конструкторской документации, указаний технических на РН «Ангара-А5», выпущенных КБ «Салют» и КБ «Полет», направлена на обеспечение и поддержание качества изделий ракетно-космической техники, за счет проведения дополнительного независимого контроля.

Ключевые слова: научно-техническое сопровождение, извещения об изменении конструкторской документации.

Kruglov I.A., Ryabchikov P.V.

Research and Development Support During Manufacturing and Testing of the Second Flight Article of the «Angara-A5» Launch Vehicle

The article is devoted to the results of the research and development support during manufacturing and testing of the second flight article of the «Angara-A5» launch vehicle and to the results of the first work step completion. The information in the article is of interest to the aerospace specialists in the field of quality assurance and reliability, and also to the aerospace article designers and other specialists in the aerospace industry. An analysis of design documentation change notices (change notice, supplementary change notice, interim change notice, supplementary interim change notice) and technical change notices for Angara-A5 launch vehicle, which were released by the Salyut Design Bureau and Polet Design Bureau, carried out in the framework of work step №1 is intended to provide quality assurance and quality maintenance through carrying out of additional third-party inspection.

Keyword: research and development support, design documentation change notices.

ФГУП «НПО «Техномаш» как головная научно-исследовательская организация ракетно-космической промышленности (РКП) привлечена АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» к научно-техническому сопровождению и испытаниям второго летного изделия РН «Ангара-А5». Данная работа призвана обеспечить дополнительный независимый контроль выполнения требований конструкторской

документации (КД), нормативной документации (НД), руководящих документов Госкорпорации «Роскосмос» при изготовлении и испытаниях второго летного изделия РН «Ангара-А5», а также достаточности выполнения предусмотренных КД объемов испытаний изделия.

Целью выполнения работ в соответствии с требованиями технического задания являются:



- проведение дополнительных проверок качества изготовления РН «Ангара-А5» № 2Л;
- оценка технической готовности КРК «Ангара» с РН «Ангара-А5» № 2Л к летным испытаниям;
- методическая поддержка обеспечения объективной оценки качества и научно-техническое сопровождение при изготовлении и испытаниях РН «Ангара-А5» серии № 71752 на КИС завода-изготовителя и при проведении ЛИ на 1 ГИК МО РФ.

ФГУП «НПО «Техномаш» приступило к выполнению работ по теме «Научно-техническое сопровождение при изготовлении и испытаниях РН «Ангара-А5» серии №71752 на КИС завода изготовителя и при проведении ЛИ на 1 ГИК МО РФ» с сентября 2019 года. В декабре 2019 года завершено выполнение этапа №1 работ «Анализ КД РН «Ангара-А5» серии №71752».

Основные цели работы по этапу №1:

- проведение КД в части выпущенных КБ «Салют» и КБ «Полет» извещений и указаний технических на изделие РН «Ангара-А5» серии №71752, проверки соответствия их требованиям ЕСКД, нормативной документации, обоснованности выпуска извещений и разработки рекомендаций по результатам анализа;
- проведение анализа материалов в соответствии с требованиями Положения РК-98-КТ: КПЭО, ПОН, ПОБ, перечней критичных элементов конструкции изделия и разработка рекомендаций по результатам анализа;
- проведение анализа отчетных документов о проведении корректировок технологической документации в соответствии с выпущенными извещениями в результате изменения КД, повлекшими изменения в конструкции (перечни конструктивных изменений, формы ТК-50), и разработка рекомендаций по результатам анализа.

В ходе выполнения работ в соответствии с требованиями технического задания разработано заключение «Анализ КД РН «Ангара-А5» серии

№ 71752», где приведены результаты анализа извещений (ИИ, ДИ, ПИ, ДПИ) об изменении КД, а также указаний технических, выпущенных КБ «Салют» и КБ «Полет» (филиалами АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева») за период до декабря 2019 года, на соответствие требованиям ЕСКД и нормативной документации АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» и обоснованности их выпуска. Случаев внесения изменений без обоснования причин не выявлено. Наиболее частой причиной внесения изменений в КД стало «устранение ошибки», что вполне логично для второго летного изделия. По результатам выполненного анализа разработаны рекомендации по дальнейшей работе.

Работа по этапу №1 признана успешной и принята заказчиком – АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

ФГУП «НПО «Техномаш» продолжает работы по научно-техническому сопровождению. Этап №2 «Анализ изготовления РН «Ангара-А5» серии № 71752 на соответствие требованиям КД» и этап № 3 «Научно-техническое сопровождение испытаний СЧ РН «Ангара-А5» серии 71752 при проведении испытаний на ПО «Полет» и РКЗ, в том числе изделия в целом на КИС завода-изготовителя находятся в стадии выполнения.

Выводы

Данные работы не носят системный, программно-целевой характер, а призваны подтвердить готовность второго летного образца изделия к запуску в рамках летных испытаний. Продолжение летных испытаний КРК «Ангара» является важной задачей как для АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», так и для всей отрасли в целом. Кроме того, на базе КРК «Ангара» создается пилотируемый космический комплекс «Амур». Для решения задач по научно-техническому сопровождению создания КРК «Ангара» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» привлекает многие предприятия отрасли, в том числе ФГУП «НПО «Техномаш».

**Информация об авторах:**

Круглов Игорь Александрович –
заместитель начальника отделения Центра
метрологического обеспечения
РКТ ФГУП «НПО «Техномаш».
Тел. 8-495-689-95-94, доб. 23-09.
E-mail: i.kruglov@tmnpo.ru

Рябчиков Павел Вячеславович –
и.о. директора центра ФГУП «НПО «Техномаш».
Тел. 8-495-689-95-94, доб. 23-09.
E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Information about the authors:

Kruglov Igor Alexandrovich –
Deputy Head of Department
of FSUE «NPO «Technomash».
Tel.: 8-495-689-95-94, extension number 23-09.
E-mail: i.kruglov@tmnpo.ru

Ryabchikov Pavel Vyacheslavovich –
Acting Center Director of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8-495-689-95-94, extension number 23-09.
E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

УДК 621.78.011

*Рябчиков П.В., Дорохин Ю.Н.***Особенности термообработки стали 30ХГСА
и аспекты ее воздействия на изделия**

Статья посвящена результатам выполнения практических задач по исследованию несоответствий, выявленных при термообработке стали 30ХГСА.

Ключевые слова: термообработка, сталь 30ХГСА.

*Ryabchikov P.V., Dorokhin Y.N.***Heat Treatment Features of 30HGSA Steel
and Its Influence Aspects on Articles**

The article is devoted to the results of practical problems on the study of nonconformities identified during heat treatment of 30HGSA steel.

Keyword: heat treatment, 30HGSA steel.

30ХГСА – высококачественная конструкционная среднелегированная сталь, которая создана во время Великой Отечественной войны Всероссийским Институтом Авиационных Материалов.

Своим появлением сталь 30 ХГСА внесла весомую долю в победу над германской авиацией благодаря своим техническим характеристикам, которые превзошли применяемую до этого времени хромомолибденовую сталь. «Хромансиль» – второе имя 30ХГСА, сокращение

от основных легирующих – хром, марганец (Mn) и кремний (Si).

Процессы термообработки стали 30ХГСА изучены достаточно полно. Однако случаи выявления несоответствий деталей сборочных единиц (ДСЕ) требованиям нормативной документации по причине некачественной термообработки повторяются.

Проведен анализ требований по термообработке стали 30ХГСА, указанной в различной нормативной документации из перечня документов

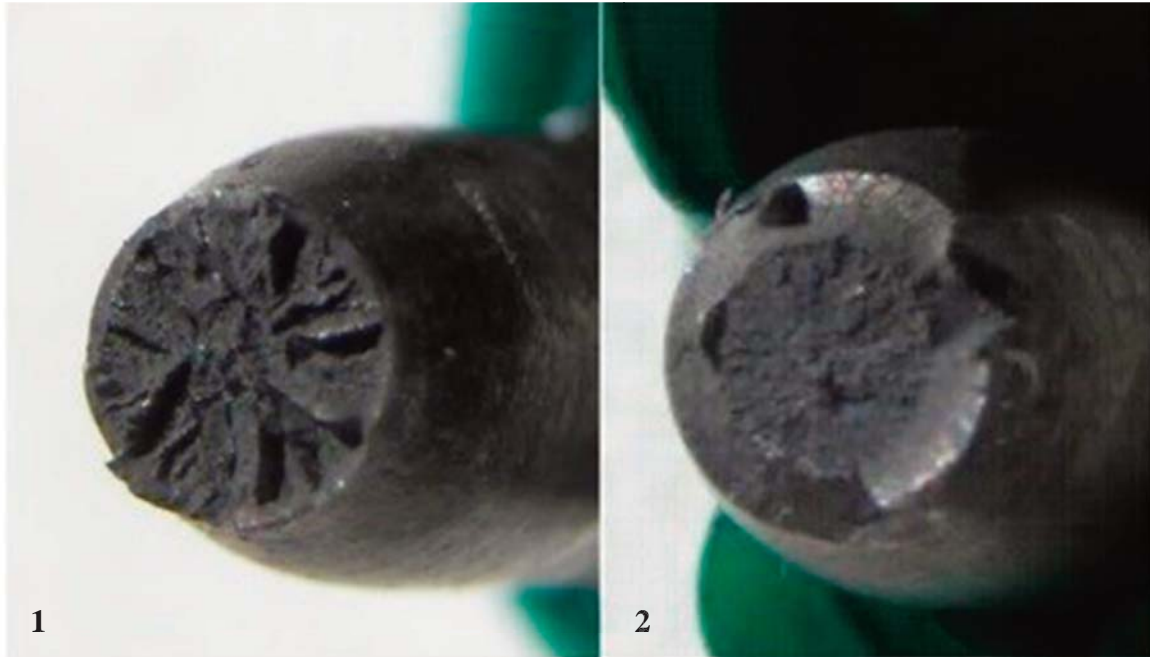


Рис. 1. Место излома образцов 1 и 2

по стандартизации оборонной продукции. Выявлен ряд отличий в режимах.

Требования ГОСТ 4543-2016 «Металлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия» устанавливают следующие значения: закалка $880 \pm 15^\circ\text{C}$, отпуск на воду или масло $540 \pm 50^\circ\text{C}$. Требования П.И. 1.2.352-87 «Производственная инструкция. Термическая обработка деталей и сборочных единиц из сталей конструкционных и коррозионностойких для самолето-, двигателе- и агрегатостроения», табл. 4 «Упрочняющая ТО» устанавливают следующие значения: закалка 900°C , допуск по табл. 3 составляет $\pm 20^\circ\text{C}$, отпуск на воду $590 \pm 10^\circ\text{C}$.

ОСТ 92-1311-77 «Детали из сталей и сплавов. Технические требования и термическая обработка» устанавливают следующие значения: Закалка $880 \pm 10^\circ\text{C}$, отпуск на воду или масло $490 \pm 20^\circ\text{C}$.

При проведении специалистами ФГУП «НПО «Техномаш» контроля технологического процесса, разработанного в соответствии с требованиями П.И. 1.2.352-87, установлено, что при проведении закалки на режиме 920°C (максимально допустимый по инструкции) возможно

разрушение деталей при воздействии постоянной нагрузки. Изготовлена и термообработана партия деталей с режимами термообработки, приближенными к номинальным по ГОСТ 4573-2016. Проведен сравнительный анализ деталей, доведенных до разрушения. Специалистами АО «Композит» проведено макрофотографирование зон излома и их анализ (рис. 1).

По результатам исследования установлено, что разрушение деталей прошло перпендикулярно оси по наименьшему сечению. Разрушение макрочрупкое. Присутствуют три зоны разрушения: очаги с рельефом межзеренного разрушения, зона развития трещины в центральной части болтов с транскристаллитным разрушением, которое прошло по механизму скол-квазискол, и зона вязкого ямочного долома. Различие между изломами в том, что площадь начала разрушения с межзеренным рельефом у образца № 2 (термообработанной по ГОСТ) примерно в два раза меньше, чем у образца № 1 (термообработанной по ПИ). В зоне начала разрушения детали 1 межзеренные фасетки гладкие, что свидетельствует об охрупчивании границ зерен. Признаков окисления на поверхности межзеренных фасеток не обнаружено.



Испытания на механические свойства при растяжении и ударный изгиб стандартных образцов, термически обработанных до показаний твердости HRC=40-43 (образец № 1) и HRC=38-39 (образец № 2), показали, что превышение твердости HRC на 1–3 ед. приводит к увеличению прочности материала по уровню на 25% и снижению ударной вязкости.

Технологически производственный контроль закалки проще всего осуществлять контролем твердости. Однако в данном вопросе следует проявлять техническую грамотность. В 1994 году вышел ГОСТ 8.064-94 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Роквелла и С-Роквелла» (State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for

means measuring hardness on Rockwell and Super-Rockwell scales). В результате шкала Роквелл (шкала HRC) для части интервалов измерений стала приравненной к шкале Супер-Роквелл (шкала HRCэ). В ряде рассмотренных технологических процессов, а также в П.И. 1.2.352-87 до сих пор не внесены соответствующие изменения, из-за чего нормирование контролируемых показателей твердости осуществлено с нарушением. ГОСТ 8.064-94 прекратил свое существование в декабре 2020 года. 30.12.2019 приказом № 3462 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии введен в действие новый документ – Государственная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Роквелла и супер-Роквелла.

Выводы

Разработанные более 30 лет назад технологические процессы в случае не надлежащей их сверки не обеспечивают качество термообработки стали 30ХГСА. Принципиально важным становится на предприятиях ракетно-космической промышленности роль служб стандартизации. В результате проведенных исследований выявлено, что установленные авиационной промышленностью в П.И. 1.2.352-87

режимы термообработки на максимально допустимых режимах (верхний край допуска) могут не обеспечивать качество термообработки. Для всех организаций рекомендуется осуществить сверку технологических процессов термообработки деталей из стали 30ХГСА, в части их соответствия требований ГОСТ 4543-2016 и (или) ОСТ 92-1311-77, разработки АО «Композит».

Информация об авторах:

Рябчиков Павел Вячеславович –
и.о. директора центра ФГУП «НПО «Техномаш».
Тел. 8-495-689-95-94, доб. 23-09
E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Дорохин Юрий Николаевич –
и.о. заместителя генерального директора по обеспечению качества производства РКТ ФГУП «НПО «Техномаш».
Тел. 8-495-689-96-66, доб. 22-63
E-mail: Y.Dorohin@tm.fsa

Information about the authors:

Ryabchikov Pavel Vyacheslavovich –
Acting Center Director of FSUE «NPO «Technomash»
Tel.: 8-495-689-95-94, extension number 23-09
E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Dorokhin Yuri. Nikolaevich –
Acting Deputy CEO for Quality Assurance
in the Aerospace Manufacturing
of FSUE «NPO «Technomash».
Tel.: 8-495-689-96-66, extension number 22-63
E-mail: Y.Dorohin@tm.fsa



НПО ТЕХНОМАШ
ИМ. С.А. АФАНАСЬЕВА

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