

1938 - 2023



АО «НПО «ТЕХНОМАШ»

ИМ. С.А. АФАНАСЬЕВА»

**Выпуск № 2 (23)
2023**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

«НПО «ТЕХНОМАШ»

**Сотовый центробежный сепаратор
с закруткой потока
с.6**

1938-2023

85 лет

ТЕХНОЛОГИИ - ПРОВЕРЕННЫЕ КОСМОСОМ

**ОТРАБОТКА
ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА
СВАРКИ ТРЕНИЕМ
С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ
ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ
ИЗ БРОНЗОВОГО СПЛАВА
с. 13**

**НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАГИСТРАТУРЫ ДЛЯ
ИНЖЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
с.62**



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК «НПО «ТЕХНОМАШ»
(выходит четыре раза в год)

Учредитель: АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТЕХНОМАШ»
ИМЕНИ С.А. АФАНАСЬЕВА»

Г.В. Боровский, канд. техн. наук, доц. – главный редактор
М.А. Прусаков, канд. техн. наук – заместитель главного редактора
А.Ф. Орлова, канд. экон. наук, доц. – секретарь

Члены редакционной коллегии:

Ю.П. Астахов, канд. техн. наук, доц.	А.И. Кузин, д-р техн. наук
В.Д. Баскаков, д-р техн. наук, доц.	В.И. Кулик, д-р техн. наук
В.Г. Бещеков, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.	А.А. Кутин, д-р техн. наук, проф.
А.Г. Бойцов, д-р техн. наук, доц.	Н.М. Легкий, д-р техн. наук, доц.
С.М. Вайцехович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.	Ю.А. Моргунов, канд. техн. наук, доц.
А.Л. Галиновский, д-р техн. наук, проф.	М.А. Назаренко, канд. физ.-мат. наук, доц.
С.Я. Гродзенский, д-р техн. наук, проф.	Л.М. Овечкин, канд. техн. наук
Ю.М. Должанский, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.	Б.И. Омигов, канд. техн. наук
А.М. Камалдинов, канд. техн. наук	К.Д. Пантелеев, канд. техн. наук
Д.А. Карабанов, канд. техн. наук	С.Л. Петухов, канд. техн. наук, доц.
О.П. Клишев, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.	К.И. Порсев, канд. техн. наук
А.Н. Кондратенко, канд. техн. наук	Н.Е. Садковская, д-р техн. наук, доц.
В.А. Корнилов, канд. техн. наук	В.В. Степанов, канд. техн. наук, доц.
С.А. Кочергин, канд. техн. наук	В.А. Тарасов, д-р техн. наук, проф.
П.В. Круглов, д-р техн. наук, доц.	А.В. Цырков, д-р техн. наук, проф.

Выпускающий редактор – Г.А. Аношкина

Макет обложки – А.А. Сляднев

Компьютерная верстка – А.С. Аболихина

Отпечатано в типографии ООО «Грин Принт», 105318, г. Москва, Измайловское ш., д. 28.

ISSN 2712-7966

Печатное периодическое издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Регистрационный номер ПИ № ФС77 – 83624 от 26.07.2022

Форма периодического распространения	периодическое печатное издание, журнал
Территория распространения	Российская Федерация
Подписной индекс издания по каталогу агентства «Урал-Пресс»	013705

Адрес редакции	127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д.40, а/я 131
E-mail	VestnikTM@tmnp.ru
Языки	русский

Журнал включен в базы данных РИНЦ. Полные тексты статей доступны на сайте
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU: <https://www.elibrary.ru>

На сайте АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» <http://www.tmnp.ru>
в открытом доступе представлены:

электронная версия, содержание, аннотации, ключевые слова и необходимая информация об авторах.

Адрес: 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д.40, а/я 131
АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»
Телефон: +7 (495) 689-95-04, факс: +7 (495) 689-73-45
E-mail: info@tmnp.ru, web-site: <http://www.tmnp.ru>





Астахов Ю.П.
85 лет «Техномашу»

Героическая страница АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» началась с далекого 1938 года, и история его неразрывно связана с историей нашей Родины. Семь техномашевцев, несмотря на бронь, ушли добровольцами на фронт и отдали свои жизни, защищая нашу великую Родину.

В годы войны «Техномаш» оказывал комплексную техническую помощь заводам на новых площадях специалисты института, не жалея сил, принимали на себя руководство цехами; вставали к станкам, обеспечивая выполнение производственных программ и планов. Объем работ по технической помощи занимал до 70% от общего объема работ. На завершающем этапе войны большая работа проведена институтом на территории Германии. В 1945 году проанализирован и собран материал, включающий в себя более 1200 наименований по технологии и организации производства вооружения.

В 1946 году на базе ГСПКИ-40 образован Научно-исследовательский технологический институт № 40 (НИТИ-40). Объем работ по ракетной технике увеличивался, и к 1957 году составил 60% от общего объема работ.

В 1956 году создан первый отечественный станок с программным управлением – универсальный фрезерный станок 6441БП с первой в стране программой управления СЦ-1, который получил диплом первой степени ВДНХ. Развернулись работы по применению ультразвука, электроэрозионных и электрохимических методов обработки. Построен корпус №4 (сейчас в нём располагается Пенсионный фонд) для всесоюзного центра ультразвуковых технологий. Развиваются работы по электротермии, разработке и внедрению вакуумно-компрессионных индукционных агрегатов для пайки. Комплекс работ по высококачественной пайке и их внедрение на заводах отрасли удостоен Ленинской премии. Создана линия литья по выплавляемым моделям, которая отмечена премией ВЦСПС.

В конце 1967 года введен в действие корпус №6. Сегодня вспоминается связанный с этим эпизод. Мы въехали на 6 этаж (полов нет, дверей нет). Входит С.А. Афанасьев и спрашивает: «Как дела?». Говорим ему: «Хорошо бы настелить полы и навесить двери», а он в ответ: «А что, когда в новую квартиру въезжаете у вас все нормально?».



Участки термоотверждения изделий из композиционных материалов созданы на Пермском заводе химического оборудования, в КБ «Искра» (Пермь), Златоусте, Красноярске, Ленинграде. В 1960 году создан станок СНП-1 для намотки корпусов твердотопливных изделий.

Большое внимание уделялось вопросам организации производства изделий, организации контроля качества и надёжности, в связи с чем создана отраслевая система управления качеством продукции (КСУКП). В 70–80-е годы прошлого столетия в отрасли быстрыми темпами развивались станкостроение и робототехника.

В начале 70-х годов введены в действие восьмой корпус и пристройка к нему. В городе Павлограде заработал Павлоградский станкостроительный завод по выпуску токарных станков с ЧПУ (СТП-220, СТП-125), которые распределялись по заводам отрасли. Главное техническое управление МОМ (Министерство общего машиностроения) контролировало их распределение по ЖД квитанциям. Фрезерные станки выпускались в Златоусте и на ЗиХ (АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»). Производство узлов для станков СТП-125 располагалось в РКК «Энергия». В г. Лобне началось строительство завода технологического оборудования. На Дмитровском шоссе введён в эксплуатацию Завод Технологического Оборудования (ЗТО). За выпуском оборудования на этих предприятиях следили и оказывали техническую помощь семь филиалов и 11 базовых лабораторий НИИТМ.

У Техномаша в то время была отраслевая структура института: отраслевые отделения (двигательное, корпусное, наземного оборудования, гироскопическое) и специализированные подразделения по всем видам технологии и организации производства. Организованы группы ведущих инженеров по предприятиям и изделиям. По направлению технологического обеспечения качества и надёжности создано около 100 отраслевых стандартов, методических указаний и положений. В 1975 году выпущено межотраслевое положение «О порядке создания, производства и эксплуатации ракетных и космических комплексов».

Работники института месяцами находились в командировках на заводах, часто выезжая бригадами. Например, бригада в 120 человек в 1970 году создавала технологии по морским изделиям на Красмаше.

Большие комплексные бригады создавались на полигоне Байконур на площадке 112 при подготовке к пуску комплекса «Энергия-Буран». На 112 площадке находился цех по производству трубопроводов, и руководителями бригад назначались командированные специалисты.

В 90-е годы Техномашем реализован целый комплекс конверсионных программ в Казахстане, «Североникеле», Вологде, Мосэнерго, Мостеплоэнерго. Самая большая конверсионная программа «Казахстан-Космос» подписана в начале 1990 года Министром общего машиностроения Шишкиным О.Н. и президентом Казахстана Назарбаевым Н.А.

В Павлограде, Алма-Ате, Кустанае, Дзезказгане специалисты института внедряли буровой инструмент, водоподготовительное оборудование, увеличивали износостойкость песковых насосов с помощью нанесения нитрата титана, спускались в шахты и ремонтировали погрузчики Caterpillar. На 12 районных тепловых станциях Мостеплоэнерго на Каширско-Шатурской ГРЭС поставляли водоподготовительное оборудование. На Кремлевскую ГЭС-1 имени С.П. Смидовича поставили в 2000 году 37 единиц химводоподготовительного оборудования.

В рамках работ по конверсии в 2000 годах организованы центры Агроситемаш, «Нетрадиционные технологии» и другие совместные предприятия, создан опытный завод «Эксперимент».

Сейчас коллектив АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» продолжает работы по техническому обеспечению изделий ракетно-космической техники и в настоящее время развивает новые направления организационно-технологического обеспечения ракетно-космической промышленности (технологический аудит предприятия, паспортизация, развитие аддитивных технологий, автоматизация процессов), внедряет достижения в различные отрасли промышленности. Техномаш ждут большие дела по технологическому обеспечению сверхтяжелого носителя, созданию отдельных производств спутников на двух запланированных заводах, созданию технологической базы на Луне и решению технологических проблем по Марсианской тематике.





СОДЕРЖАНИЕ

АСТАХОВ Ю.П. 85 лет «Техномашу»	1
НОВЫЕ ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
<i>Вайцехович С.М., Власов Ю.В., Зобов Ю.А.</i> Сотовый центробежный сепаратор с закруткой потока.....	6
<i>Кочергин С.А., Домрачев Г.М., Свиридова Т.С., Белавин А.И., Титкин А.В., Витол И.И.</i> Отработка параметров режима сварки трением с перемешиванием листовой заготовки из бронзового сплава	13
СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП	
<i>Матвеев Ю.А., Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С.</i> Концепция многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития космической отрасли.....	19
СПЕЦИАЛЬНЫЕ И УНИКАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ РКТ	
<i>Матвеев Е.В.</i> Становление и развитие в НПО «Техномаш» научного направления по контролю геометрии масс в производстве космических аппаратов.....	36
<i>Пась О.В., Серков Н.А.</i> Анализ точности фрезерования остаточного полотна обечаек с вафельным фоном и синтез алгоритма коррекции на станках типа «СВО»	45
<i>Должанский Ю.М., Кочергин С.А., Маслов М.В., Матвеев Е.В., Орин С.В., Трофимова А.И.</i> Технологии и специальное оборудование, паспортизированные АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в 2022 году.....	54
ОБРАЗОВАНИЕ И ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ	
<i>Калугин В.Т., Луценко А.Ю., Галиновский А.Л.</i> Новые возможности магистратуры для инженерного образования	62





CONTENTS

ASTAKHOV I.U.P.

85 years of «Technomac» 1

NEW ADVANCED PRODUCTION TECHNOLOGIES

Vaitsekhovich S.M., Vlasov Iu.V., Zobov Iu.A.

Cellular centrifugal separator with flow twisting 6

Kochergin S.A., Domrachev G.M., Sviridova T. S., Belavin A. I., Titkin A. V., Vitol I. I.

Elaboration of friction stir welding mode parameters for bronze alloy blank sheets 13

MODERN REQUIREMENTS AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF AEROSPACE ENTERPRISES

Matveev Iu.A., Panteleev K.D., Rakhmilevich E.G., Iurtsev E.S.

Concept of multi-level forecasting and planning of technological development of the space industry 19

SPECIALIZED AND UNIQUE PROCESS EQUIPMENT AND FIXTURE FOR THE AEROSPACE PRODUCTS MANUFACTURING

Matveev E.V.

Establishment and development of scientific field of mass geometry control in spacecraft production in «NPO «Technomac» 36

Pas O.V., Serkov N.A.

Analysis of accuracy of residual sheet milling of shells with orthogrid structure and synthesis of correction algorithm on «WCS» type machines 45

Dolzanskii Iu.M., Kochergin S.A., Maslov M.V., Matveev E.V., Orin S.V., Trofimova A.I.

Technologies and special equipment certified by JSC «Afanasev «NPO «Technomac» in 2022 54

EDUCATION AND ADVANCED TRAINING

Kalugin V.T., Lutsenko A.Y., Galinovskii A.L.

New Master's degree opportunities for engineering education 62

УДК 621.928

Вайцехович С.М., Власов Ю.В., Зобов Ю.А.
Vaitsekhovich S.M., Vlasov Ju.V., Zobov Ju.A.

Сотовый центробежный сепаратор с закруткой потока

Cellular centrifugal separator with flow twisting

На основе спирально-профильных труб разработан сепаратор для отделения из сжатого воздуха (аэрозоли) водного конденсата, остаточной влаги в виде пара, а также дисперсных частиц из газов в аппаратах воздухообеспечения пневмосистем предприятий ракетно-космической промышленности в зимнее время.

A separator for separation of water condensate, residual moisture in the form of vapour, and also dispersed particles from compressed air (aerosols) from gases in air supply apparatuses of pneumatic systems of enterprises of aerospace industry in winter time has been developed on the basis of spiral-profile pipes.

Ключевые слова: сепаратор, жёсткость конструкции, шаг, спирально-профильная гофра, водный конденсат, прокатно-волочильный стан.

Keywords: separator, construction rigidity, pitch, spiral-profile corrugation, water condensate, rolling and turning mill.

Сепарация основана на разнице в качественных характеристиках компонентов: в размерах твёрдых частиц, в плотности, удельной поверхности, магнитной восприимчивости, электропроводности, радиоактивности, коэффициентах трения.

Назначение сепараторов – разделение на фракции продуктов с разными характеристиками, например для жидкостей – по удельному весу, моторного масла – от воды или отделение жидкости от смесей и осадков, твёрдых материалов – разделение составляющих по плотностям или размерам твёрдых частиц, в том числе в целях утилизации. При разделении в сепараторе сложных продуктов на фракции не происходит изменения химического состава веществ.

Рассмотрим работу центробежного циклонно-сепаратора, влагоотделителя к нагревательным установкам осушки воздуха, например А500У-02 для осушки и очистки воздуха от пыли и масляных паров [1].

Общим недостатком вышеуказанного сепаратора является наличие продольных щелей постоянной ширины на цилиндрическом корпусе для исключения отскока твёрдых частиц в коническую часть, не содержащую таких щелей; отскок и возврат в газовый поток твёрдых частиц, удаляемый из циклона в выхлопную трубу, приводит к снижению эффективности очистки. При этом происходит зна-

чительная эрозия стенок циклона-сепаратора. Эти негативные явления проявляются в большей степени с увеличением концентрации твёрдых частиц в пылегазовом потоке и скорости его вращения.

Разработан центробежный сепаратор, включающий замену центральной конической трубы на сотовый блок, состоящий из спирально-профильной трубы (СПТ) (рис. 1) [2], имеющий правильную шестиугольную форму сечения законцовок, соединённых герметично лазерной сваркой (рис. 2).

Законцовки трубы выполнены в виде правильных шестиугольных призм (рис. 1), а основная часть – имеет спирально-профильную шестизаходную боковую поверхность, при этом $D_n \geq d$, где D_n – диаметр окружности, вписанной в поперечное сечение законцовки; d – описанный наружный диаметр спирально-профильной части СПТ. Длина законцовки l увеличивает площадь граней и силу сцепления труб в пучке.

Корпус сепаратора состоит из трёх секций (1, 2, 3) со съёмно-разъёмными соединениями.

Верхняя секция (1) корпуса состоит из трубной цилиндрической законцовки, соединяющей сепаратор через вентиль с нагнетающим насосом и конической частью по типу диффузор, переходящей в расширяющуюся воронку конической формы, расположенную на границе между верхней секцией (1) и средней секцией (2) корпуса сепаратора.



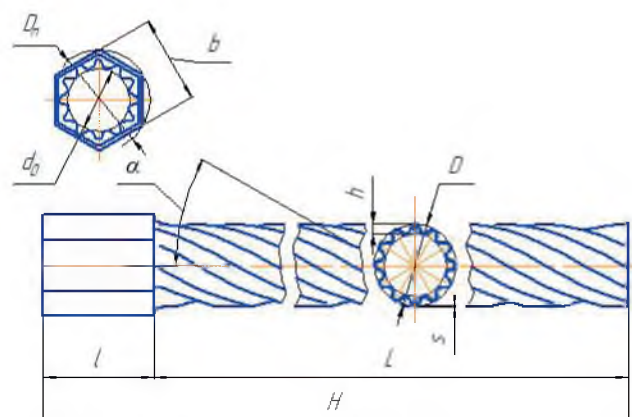


Рис. 1. Схема СПТ: D – диаметр наружный гофрированной части трубы; D_n – исходный наружный диаметр; d_0 – диаметр внутренний (гофрированная часть трубы); L – длина гофрированной части; l – длина шестигранной законцовки; H – общая длина СПТ; s – толщина стенки; b – размер между параллельными гранями (под ключ); α – угол подъема винтовой линии. h – высота гофры

Средняя секция (2) корпуса сепаратора цилиндрической формы включает воронку по типу конфузор (4), в суженной части которой расположен сотовый блок (5), состоящий из нескольких спирально-профильных труб (СПТ), соединённых между собой шестигранными законцовками по типу пчелиный соты (шестигранная конструкция сотового блока труб (5) является идеальной как по прочности, так и по гидродинамике проходящих через неё потоков).

Нижняя секция (3) корпуса сепаратора цилиндрической формы содержит блок, газоотводный патрубков (6), верхняя часть которых расположена соосно с сотовым блоком СПТ (5), а нижняя часть – с трубой (7), которая через цилиндрическую законцовку, оканчивающуюся вентилем, связана с фильтром грубой очистки типа PE или SB (на рис. не показан). На дне нижней секции (3) установлен сливной патрубков (8).

Между средней (2) и нижней (3) секций сальфона расположена плита (9), в которую вмонтирован сотовый блок труб (5) и сливной патрубков (10).

Спиральный профиль в виде сот приводит к увеличению турбулизации и уменьшению вязкого пристеночного слоя, что приводит к увеличению скорости потока, уменьшению трения о стенки и уменьшению степени загрязнения поверхностей и солеотложения, а с экономической точки зрения – упрощает и удешевляет изготовление пучка [3].

Благодаря конструктивному оформлению сепаратора снижается гидросопротивление потока,

упрочняется соединение труб, появляются широкие возможности выбора величины вписанного диаметра законцовок для получения любого требуемого расстояния между смежными трубами в пучке (от нуля и выше);

- увеличивается прочность соединения труб, так как правильные шестигранные соты являются прочной конструкцией;

- увеличивается усталостная прочность материала, так как продольная пружинность СПТ гасит вибрацию, гидроудары и теплоудары, что позволяет дольше сохранять правильную геометрию конструкциям законцовок СПТ;

- повышается радиальная жёсткость, что позволяет исключить промежуточные поддерживающие перегородки;

- появляется возможность унифицирования модульной конструкции сотового трубного пучка, упрощается изготовление, сборка-разборка, осмотр, чистка и ремонт трубного пучка.

На входе и выходе сепаратора поток плавно переходит в спирально-профильную поверхность, образуя матрицу теплообмена, внутритрубный поток закручивается, что обеспечивает низкое гидросопротивление, низкую степень загрязнённости и высокую степень теплопередачи, повышенную сепарацию по сравнению с конической трубой, содержащей завихрители и турбулизаторы [4].

В табл. 1. приведены сравнительные технические показатели влагоотделителей нагревательных установок осушки воздуха А1000У-02 (УОА-100-МП40) и сотового СПТ сепаратора.

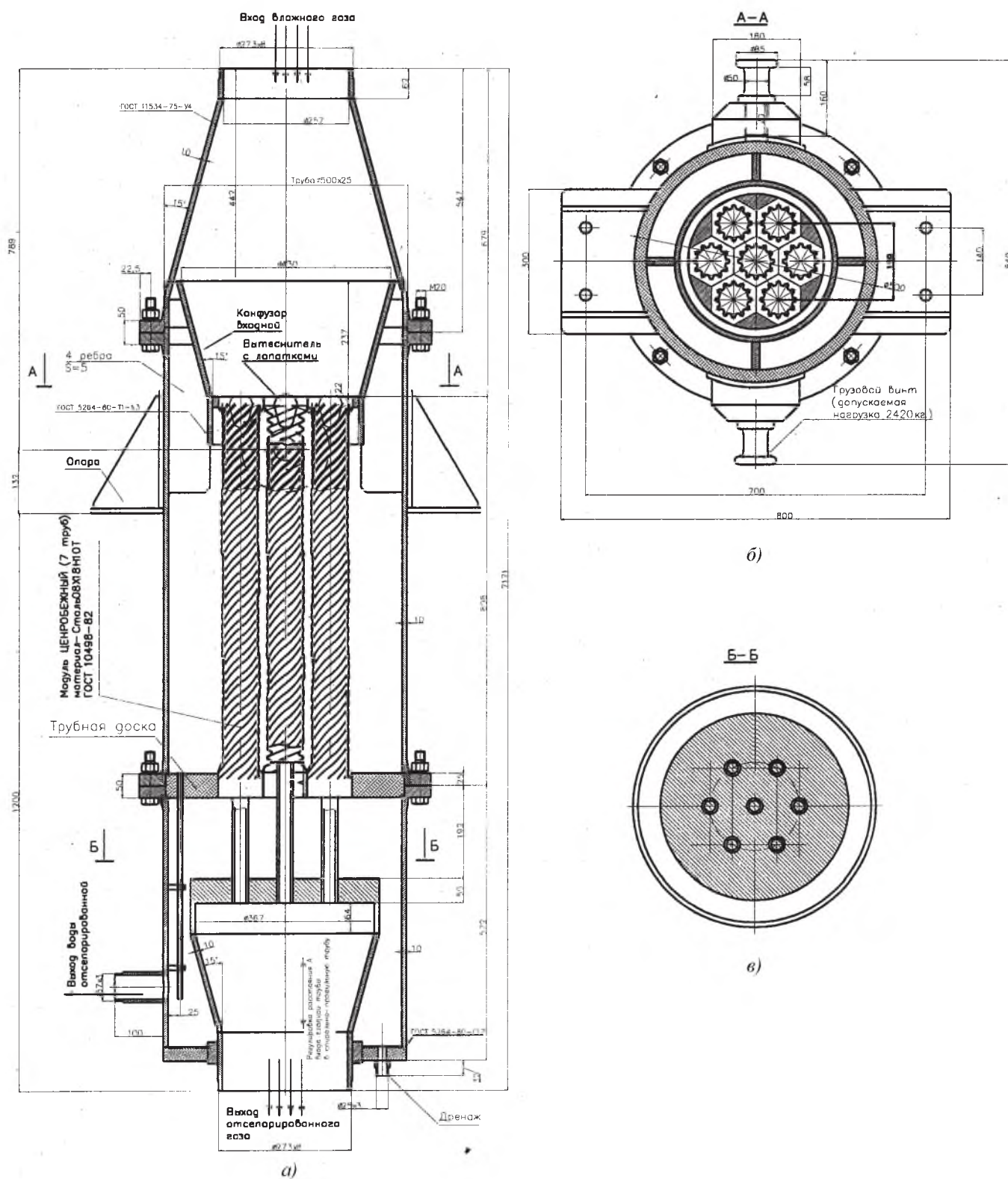


Рис. 2. Сотовый центробежный сепаратор осушителя с закруткой потока:

а) схема сотового сепаратора осушителя с закруткой потока; б) вид по разрезу А-А;

в) вид по разрезу Б-Б, поперечное сечение корпуса сепаратора;

- 1 – секция верхняя; 2 – секция средняя; 3 – секция нижняя; 4 – воронка конфузор; 5 – сотовый блок;
 6 – газоотводный патрубок; 7 – воздухосборник отсортированного газа; 8 – сливной патрубок; 9 – плита средняя;
 10 – сливной патрубок; 11 – вытеснитель; 12 – лопатки винтообразные; 13 – коллекторная область средней секции;
 14 – коллекторная область нижней секции

Таблица 1. Сравнение технических показателей влагоотделителей нагревательных установок осушки воздуха А1000У-02 (УОА-100-МП40) с сотовым СПТ сепаратором

Наименование	Параметры	
	УОА 100-МП40	сотовый се- паратор СП
Объёмная производительность по ГОСТ 2939-63, м ³ /мин	до 100	до 120
Рабочее давление воздуха в режиме сушки, МПа (кгс/см ²)	0.6 ... 0.8	
Среда, воздух	нетоксичная пожаровзрывобезопасная	
Точка росы осушённого воздуха °С, не выше	- 40	
Рабочая температура воздуха на входе в установку °С, не выше	+ 50	
Температура воздуха на выходе из установки, °С, не выше	+50	+60
Рабочее давление воды в системе, МПа (кгс/см ²)	до 0,6	
Потребляемая мощность кВт, не более	76	70
Эффективность сепарации, %	90...93	98...99
Масса сепаратора влагоотделителя, кг	230	160

В табл. 2 представлены технические характеристики сотового сепаратора.

Таблица 2. Технические характеристики 12-гофрированной СПТ

Материал	Сталь	X18H10T
Число заходов гофр, шт.	-	12
Высота гофры, мм	h	10
Внутренний диаметр входа СПТ, мм		111,2
Размер между параллельными гранями (под ключ)	b	98
Толщина стенки, мм	s	0,6
Исходный наружный диаметр, мм	D_n	112,4
Диаметр наружный (гофрированная часть трубы), мм	D	78
Диаметр внутренний (гофрированная часть трубы), мм	d_0	58
Длина гофрированной части, мм	L	690
Длина шестигранной законцовки, мм	l	110
Общая длина СПТ, мм	H	800
Угол подъёма винтовой линии, град	α	45
Диаметры сопоставимой по объёму трубы (СОТ), мм		64,4 на 65,6
Соблюдены условия: объём жидкости гладкой трубы сопоставим с объёмом жидко- сти СПТ, с учётом коэффициента натяжения трубы (коэф. 1,2)	$S=112,4/65,6=1,71$ $S(\text{СПТ})/S(\text{СОТ})=2,1$	

Работа сотового центробежного сепаратора с закруткой потока

Сжатый воздух от компрессора с аэрозолем воды попадает в конфузор-воронку (4) (рис. 2), обтекает вытеснители (11) и винтообразные лопатки (12), по стенке воронки стекает во внутреннюю винтовую поверхность спиральных гофров, производя сброс воды.

С одной стороны, сжатый воздух вовлекается во вращательное движение с высокой скоростью внутри СПТ, вокруг её оси, прижимаясь к стенкам сотового блока (5). Под воздействием центробежных сил капельки воды в спиральной циклонной области сотового блока (5) оседают на внутренней стенке СПТ и стекают в коллекторную область (13), а очищенный сжатый воздух через газоотводные патрубки (6) поступает в воронку воздухоотборника (7).

С другой стороны, сжатый воздух вокруг сотового блока (5) огибает воронку конфузора (4) по стенке средней секции (2), разделяется на две части, одна из которых перемещается вдоль стен-

ки средней секции (2), другая – распространяется по объёму средней секции (2), в коллекторной области (14) отделяется от внешней циклонной винтовой области (5) и отражается от поверхности средней плиты (9). Поток сжатого воздуха уносит часть конденсата через сливной патрубок (10) в коллекторную область (14) нижней плиты (3), который удаляется в водосборник через сливной патрубок (8). Сжатый воздух, не попадающий в коллекторную область (13), поступает в верхнюю секцию (1) через щелевой зазор между воронкой конфузора (4) и стенкой диффузора верхней секции (1), перемешиваясь с поступающим сжатым воздухом от компрессора, и перемещается внутрь сотового блока (5).

Для отвода конденсата устанавливается электронный конденсатоотводчик, так как уровень конденсата не должен выходить за пределы коллекторной области (13).

Пример работы сотового центробежного сепаратора с закруткой потока

Предложенная полезная модель сотового сепаратора [2] имеет трубный пучок, состоящий из семи СПТ.

Сотовый сепаратор состоит из пучка параллельных труб, концы которых (законцовки) выполнены в форме правильных шестигранных призм и соединены между собой беззазорно и герметично так, что образуется правильная сотовая конструкция. При этом диаметр вписанной в шестигранник окружности равен или больше внешнего описанного диаметра остальной части трубы.

Соединение может быть неразъёмным на основе сварки, пайки, клейки, завальцовки, «микровзрыва», сварки трением или разъёмным, использующим пластичные герметизирующие прокладки.

Несколько труб, соединённые таким образом между собой, могут образовывать на торцах законцовок разные фигуры, в том числе правильный шестиугольник. Такое соединение может рассматриваться как модуль (в частном случае модуль состоит из одной трубы). Отдельные модули могут собираться в трубный пучок произвольного размера и соединяться как неразъёмным, так и разъёмным способом. Для увеличения надёжности разъёмных креплений применяется механический замковый способ крепления законцовок

друг с другом. Для этого на гранях скрепляемых законцовок выполняется одна или несколько пар смежных поклёвок – одна вогнутая, другая выпуклая – таким образом, что при смыкании граней соседних законцовок поклёвка одной грани заходит через пластическую прокладку в поклёвку другой грани, образуя замок, препятствующий осевому смещению труб относительно друг друга.

Разъёмное соединение модулей в трубный пучок через пластическую герметичную прокладку позволяет снизить разрушающую конструкцию вибрации и неравномерное расширение ее частей и дольше сохранить правильную геометрию трубного пучка в процессе эксплуатации. Это позволяет отказаться от устройства перегородок, разделяющих и поддерживающих трубы в пучке.

По внешнему контуру законцовок трубный пучок скрепляется обечайкой, которая служит для скрепления труб в модуле и модулей в трубном пучке; неразъёмного или разъёмного, например фланцевого, соединения трубного участка с патрубками, подводными и отводящими входной и выходной потоки; герметичной изоляции потока, проходящего через входной патрубок; отделения внутритрубного пространства от потоков, циркулирующих в межтрубном пространстве.



Для замыкания межтрубного пространства трубный пучок с патрубками может быть снабжён корпусом (кожухом) с патрубками для подвода и отвода межтрубного потока, при этом корпус герметично соединён разъёмным или неразъёмным способом с трубным пучком по линии обечайки. Указанное соединение может быть как жёстким, так и не жёстким («плавающим» в направлении оси трубного пучка) для снижения степени разрушающей вибрации. Шестигранный профиль законцовок СПТ позволяет конструировать разные формы корпусов теплообменных аппаратов, в том числе ромбические, квадратные, прямоугольные, шестигранные, восьмигранные и круглые, при сохранении одинаковых расстояний между центрами осей труб.

Между законцовками располагается основная часть трубы – спирально-профильная боковая поверхность, при этом указанная поверхность может состоять из нескольких зон произвольной относительной длины, каждая из которых име-

ет свою геометрическую форму число заходов, глубину и форму канавок, угол подъёма спирали (зона может иметь и простую гладкостенную поверхность).

Для увеличения поверхности сепарации на профильную часть СПТ устанавливают орбрение в виде ленты, навитой по спирали, либо колец в виде отдельных лепестков. Лента и лепестки закрепляются по вершинам гофров спирали безззорно.

Внутренняя поверхность СПТ создаёт внутри закрутку потока по спирали, а внешняя – орбрение для межтрубного потока.

Технико-экономические показатели эффективности сепаратора с СПТ выражаются в повышении теплотехнических и гидравлических параметров теплообменных аппаратов, увеличении их компактности и удельной теплопроизводительности, снижении себестоимости изготовления, а также в повышении эксплуатационной надёжности и снижении эксплуатационных расходов.

Сравнительный анализ работы сотового центробежного сепаратора

Изменение сопротивления потоку воздуха в нормальных условиях

– число Рейнольдса для сопоставимой трубы:

$$Re_{com} - 14 \cdot 32,22 = 45,1 \cdot v_{com} \text{ (см/с)} \quad (1)$$

При течении воздуха в нормальных условиях и температуре 15°

$$Re_{сод} - 14 \cdot 0,5 = 7 \cdot v_{com} \text{ (см/с)} \quad (2)$$

Скорость течения в расчёте на СОТ (сопоставимой по объёму трубы):

$$СОТ v_{com} = \frac{Q}{S_{com}} = \frac{Q}{32,56} \quad (3)$$

Известно, что для гладкой цилиндрической трубы (СОТ) критическое число Re_{com} , при котором нарушается ламинарность течения, составляет $Re > 2300$, а при $Re > (15000 \div 20000)$ имеет место режим развитой турбулентности [5].

Измеренные значения ΔP при трёх скоростях течения воздуха в нормальных условиях при температуре 25... 30°С приведены в [6], откуда видно, что зависимость сопротивления от скорости V квадратичная и наблюдается нестационарность показателей сопротивления, то есть величина ΔP непрерывно флуктуирует в приведённых в скобках диапазонах значений сопротивления.

Из анализа экспериментальных данных следует, что при $Re < 100000$ коэффициент гидравлического сопротивления ξ СПТ возрастает с увеличением скорости течения воздуха V_{com} .

Сепарационные характеристики СПТ

Осаждение модельных частиц турбинного масла и воды в СПТ представлено в [6].

Инерционно субмикронные частицы турбинного масла с $d = 0,2 \dots 0,3$ мкм практически не осаждаются в СПТ, поскольку число Стокса, определяющее их инерционный захват, составляет:

$$St = 0,00022, \quad (2)$$

где $St = \frac{L}{D}$, $L = (t \cdot v_{co})$ – длина инерционного пробега частицы, d – характерный размер осадочного

элемента, в качестве которого принимается высота гофры 1 см; $t = \frac{d^2 \cdot \rho}{18 \cdot \eta}$ – характерное время релаксации частицы диаметром d и плотностью ρ в газе с динамической вязкостью η ; для воздуха $\eta = 1,84 \cdot 10^{-4}$ пуаз, $\rho \approx 0,9$ г/см³.

Эффективное инерционное осаждение наблю-

дается при $St > 0,2 \dots 0,5$ (в зависимости от типа осадителя).

Грубодисперсные частицы водного тумана осаждаются полностью при $St=14,9$, то есть предложенные СПТ могут быть рекомендованы для эффективного использования в качестве сепаратора грубодисперсного аэрозоля с $d > 20 \dots 30$ мкм.

Выводы

Предложенная конструкция сотового центробежного сепаратора по сравнению с циклонным сепаратором, влагоотделителем к нагревательным установкам осушки воздуха обеспечивает снижение гидросопротивления потока, увеличение прочности соединения труб, увеличение усталостной прочности материала, так как продольная

пружинность СПТ гасит вибрацию, гидроудары и теплоудары, повышает радиальную жёсткость. Возможность унификации модульной конструкции сотового трубного пучка упрощает изготовление, сборку/разборку, осмотр, чистку и ремонт трубного пучка, повышает величину сепарации в 1,71–2,1 раза.

Библиографический список

1. Патент на изобретение № 2 226 128 В04С 5/10 Циклон сепаратор. / Асмолова Е.Н., Зотов А.П. и др. – № 200310532/15 от 26.02.2003; Оpubл. 27.03.2004 Бюл. №9.
2. Патент на полезную модель № 218979U1 В01D 53/26 Сотовый сепаратор с закруткой потока. / Вайцехович С.М. – № 2023103772 от 20.02.2023; Оpubл. 21.06.2023 Бюл. №18.
3. Закрутка потока для повышения эффективности теплообменников: Всерос. конф. (Москва, 9-11 апр. 2002 г.): Сб. тез. докл. / Орг. ком.: Полежаев Ю. В. (пред.) [и др.]. – Москва: ОИВТ РАН, 2002. – 47 с.: ил.
4. Вайцехович С.М., Кривенко Г.Г., Корнилов В.А. Спирально-профильные трубы: преимущества и перспективы применения в теплообменных аппаратах. / Технология машиностроения. – Москва, ISSN 1562-322X, 2011. – №12. – С. 31-37.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
6. Вайцехович С.М., Власов Ю.В. Сепаратор для очистки воздуха на основе спирально-профильных труб. // Инновационное машиностроение. Сборка в машиностроении, приборостроении, 2022. – Том 23, № 11 (268). – С. 483-487.

Вайцехович Сергей Михайлович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» Тел.: 8(495) 689-87-95. E-mail: ask-mlad@mail.ru

Vaitsekhovich Sergei Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Senior Research Officer, Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac» Тел.: 8(495) 689-87-95. E-mail: ask-mlad@mail.ru

Власов Юрий Вениаминович – канд. техн. наук, генеральный директор АО «НПО «Техно-маш» им. А.С. Афанасьева». Тел.: 8 (495) 689-26-12. E-mail: Y.Vlasov@tmnp.ru

Vlasov Iurii Veniaminovich – Ph.D. in Engineering Sciences, CEO of JSC «Afanasev «NPO «Technomac». Тел.: 8 (495) 689-26-12. E-mail: Y.Vlasov@tmnp.ru

Зобов Юрий Александрович – руководитель Управления стратегической трансформации и цифровизации АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8 (495) 689-95-33. E-mail: Yu.Zobov@tmnp.ru

Zobov Iurii Aleksandrovich – Head of the Strategic Transformation and Digitalisation Department of JSC «Afanasev «NPO «Technomac». Тел.: 8 (495) 689-95-33. E-mail: Yu.Zobov@tmnp.ru

УДК 621.791.14

Кочергин С.А., Домрачев Г.М., Свиридова Т.С., Белавин А.И., Титкин А.В., Витол И.И.
Kochergin S.A., Domrachev G.M, Sviridova T. S., Belavin A. I., Titkin A. V., Vitol I. I.

Сварка трением с перемешиванием листовой заготовки из бронзового сплава

Friction stir welding of bronze alloy blank sheets

Представлены результаты разработки технологии сварки трением с перемешиванием жаропрочного сплава на основе меди. Приведены данные о возникающих зонах в процессе одновременного интенсивного пластического деформирования и термического воздействия, которыми материал подвергается при формировании соединения в процессе сварки трением с перемешиванием.

The results of friction stir welding technology development for copper-based heat-resistant alloy are presented. The article presents data on the generated zones in the process of simultaneous intensive plastic deformation and thermal effects to which the material is subjected during the formation of the joint in the process of friction stir welding.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, бронзовые сплавы, параметры процесса, зона термомеханического воздействия.

Keywords: friction stir welding, bronze alloys, process parameters, thermomechanically affected zone.

В целях изготовления деталей изделий ракетно-космической техники (РКТ) широкое применение находят жаропрочные сплавы на основе меди, которые обладают высокой жаростойкостью, что делает их практически незаменимыми при изготовлении элементов, подверженных интенсивным температурным нагрузкам. Технология сварки жаропрочных сплавов на основе меди традиционными способами освоена на предприятиях РКП, но для задач по совершенствованию массогабаритных характеристик, повышению качества возможно рассмотрение технологии сварки трением с перемешиванием (СТП).

СТП является относительно новым методом получения сварных соединений, предложенным в СССР и получившим дальнейшее развитие в ряде зарубежных стран. В процессе СТП происходит взаимодействие различных процессов, таких как тепловыделение при трении, образование и разрушение металлических связей между сопряженными поверхностями инструмента и свариваемых заготовок в процессе их относительного движения, быстрый нагрев и охлаждение объемов металла при больших давлениях, пластическая деформация, деформационное упрочнение и рекристаллизация металла и др.

В настоящее время по причине многофакторности процесс СТП недостаточно изучен. Вместе с тем, в развитых странах применение сварки трением возрастает на 15..20% в год [1].

СТП имеет ряд преимуществ перед традиционными способами сварки, обусловленных отсутствием расплава при сварке трением и дефектов, связанных с затвердеванием жидкого металла, что обусловлено характером массопереноса материала в результате фрикционного взаимодействия инструмента и контактирующего с ним металла. В процессе сварки трением с перемешиванием отсутствует расплав металла и вызванные его затвердеванием дефекты в виде дендритной структуры, усадочных раковин, непроваров, шлаковых включений, скоплений газовых пор и др. [2–3].

Сварка трением с перемешиванием активно внедряется для алюминиевых конструкций [3–7], однако сварка жаропрочных сплавов на основе меди является сложной наукоемкой задачей, требующей не только наличия специального оборудования и инструмента, но и отработанной технологии. В АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» ведутся работы по отработке режимов сварки трением с перемешива-



нием. В качестве оборудования используется установка с техническими характеристиками (табл. 1). Отработка режимов сварки ведется на плоских образцах из хромовой бронзы с размерами 350×350×16 мм (длина × ширина × толщина). Тип соединения – стыковой.

Инструмент для СТП представляет собой сборочную единицу, состоящую из пина (1) и хвостовика (2) (рис. 1). Показатели твердости представлены в табл. 2. Для крепления свариваемых образцов использовалась прижимная оснастка, позволяющая осуществлять стыковое соединение образцов с учетом оказываемых в процессе сварки усилий.

Основными параметрами сварки являются: скорость вращения инструмента, скорость пе-

ремещения инструмента, скорость заглабления инструмента, время выхода на режим. Диапазон варьируемых параметров представлен в табл. 3. В ходе отработки режимов СТП определены оптимальные параметры процесса.

В процессе СТП осуществляется фрикционный нагрев и массоперенос металла, вследствие диссипации энергии при пластическом деформировании, и происходит интенсивное тепловыделение в объеме материала, что приводит к формированию зон со структурой и свойствами, отличающимися от свойств основного материала [8].

Результаты металлографических исследований зоны шва, проведенные на исследовательском микроскопе Olympus BX51, показали наличие зон с различной структурой материала (рис. 2).

Таблица 1. Технические характеристики установки

Параметр	Значение
Поперечный ход инструмента, мм	400
Усилие при подаче стола вдоль оси, кН	40
Усилие вертикальной оси, кН	до 80
Крутящий момент двигателя продольного перемещения, Нм	20
Скорость подачи (вдоль оси), максимальная, мм/мин	10000
Частота вращения шпинделя, об/мин	0 – 3000

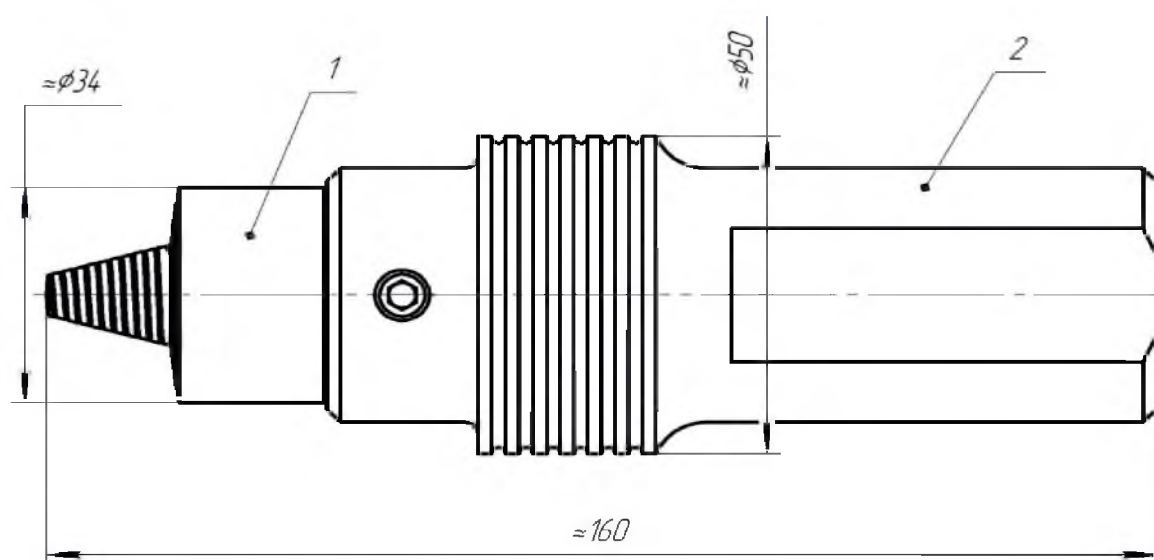


Рис. 1. Инструмент для СТП

Таблица 2. Показатели твердости составных частей инструмента

Части инструмента	Твердость, HRC
Пин	35,6
Держатель	49

Таблица 3. Изменяемые параметры режима СТП

Изменяемый параметр	Скорость вращения инструмента, об/мин	Скорость перемещения инструмента, мм/мин	Скорость заглабления инструмента, мм/мин
Исследуемый диапазон изменений	500-600	50-100	3-10

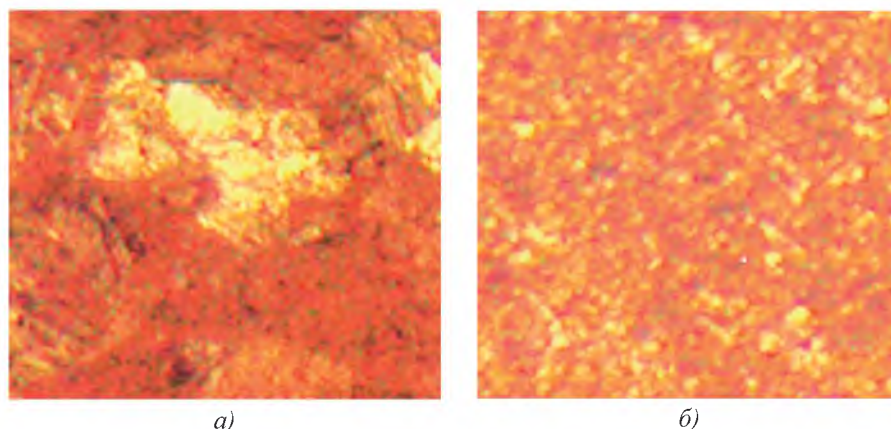


Рис.2. Микроструктура основного материала вне зоны сварки (а) и в зоне сварного шва (б)

В процессе СТП происходит процесс рекристаллизации с формированием зеренной структуры. В области шва можно выделить три зоны (рис. 3), отличающиеся по структуре и твердости (рис. 4, табл. 4) – основной металл, зона термического воздействия, зона термомеханического воздействия (в процессе СТП металл не деформируется, но вследствие цикла «нагрев-охлаждение» его микроструктура эволюционирует, что вызывает изменение свойства материала).

Исследование твердости проводилось после двухсторонней СТП листа хромовой бронзы толщиной 16 мм во всех зонах области шва – в зоне, подвергшейся термическому воздействию, и в зоне сварного шва. Исследования проводились на цифровом твердомере 206 PTD Digitronic «AF-FRI», схема точек замера представлена на рис. 4.

Среднее значение твердости в основном металле составило 64,5. Полученные данные говорят, что в зоне термомеханического воздействия (зоне шва) значения твердости выше, чем в зоне термомеханического воздействия.

Также проведены механические испытания на разрыв ($V=3 \text{ Н/мм}^2 \text{ с}$) по ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение», результаты которых представлены на рис. 5 и в табл. 4. В цилиндрических образцах для испытаний, вырезанных механически из листа, сварной шов находился в центре базовой части поперек оси. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Анализ мест разрыва показал, что на всех испытуемых образцах образование шейки с последующим разрывом образца происходит в зоне границы между швом и основным металлом.

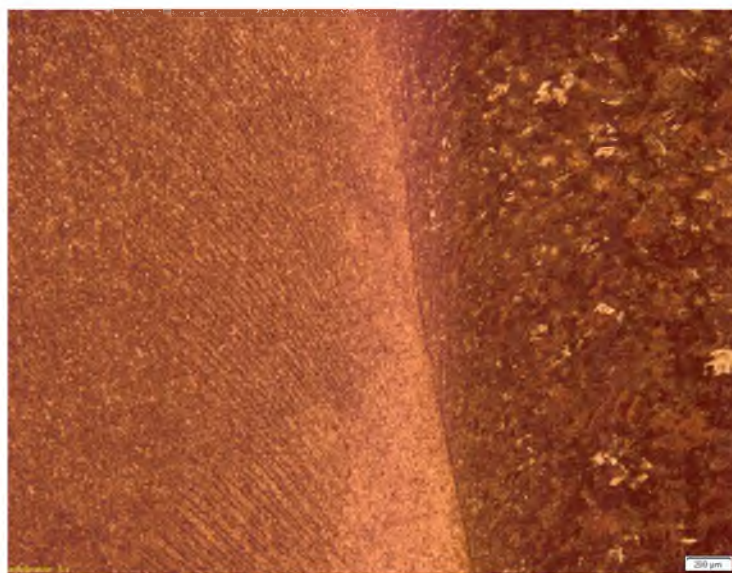


Рис.3. Микроструктура границы шва



Рис. 4. Схема исследования твердости образца после двусторонней СТП

Таблица 4. Значения твердости в исследуемых точках на образце после двусторонней СТП

Твёрдость HRF (нагрузка 60 кг)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60,3	63,1	64,6	70,3	74,9	78,4	77,4	64,5	63,6	63,4
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
63,6	65,5	65,4	65,3	70,5	76,1	78,2	65,4,7	63,7	65,4
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
64,6	64,1	65,2	65,8	73,3	78,6	74,5	66,4	65,3	64,8
31	32	33	34	35	36	37	38	39	–
64,1	64,8	64,6	72,9,	72,2	71,2	65,0	65,0	64,0	–



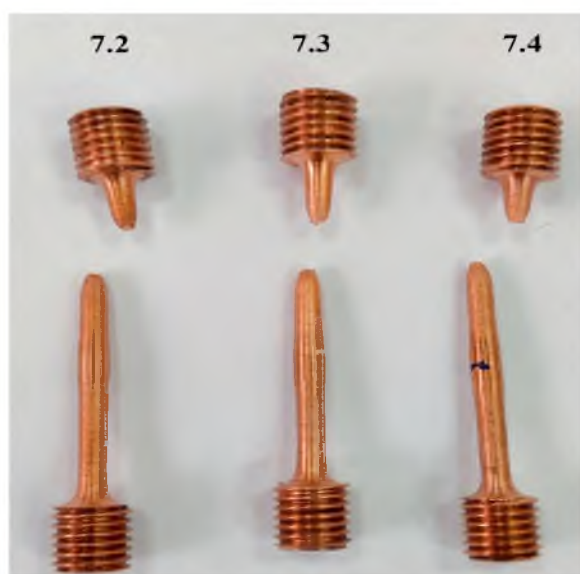


Рис. 5. Образцы после проведения испытаний на разрыв

Таблица 5. Результаты испытаний на разрыв

Параметры	Результат
Предел текучести при 20%, МПа	61,59
Удлинение при разрушении, %	26,31
Предел прочности, МПа	233,47

Выводы

1. Определены оптимальные параметры процесса СТП, обеспечивающие качество шва, что подтверждается проведёнными исследованиями.

2. Проведены исследования твёрдости зоны сварного шва, показавшие её повышение в зоне

термомеханического воздействия, с максимумом в центральной части ядра соединения.

3. Выполнены механические испытания на разрыв образцов, показавшие, что разрыв происходит по границе сварного шва и основного материала.

Библиографический список

1. Курицын Д.Н. Разработка технологического обеспечения сварки трением с перемешиванием в производстве аэрокосмических конструкций [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.07.02/Д.Н. Курицын. – Москва, 2018. – 177 с.

2. Качко В.В. Влияние технологических факторов высокоскоростной перемешивающей сварки трением на качество получаемых соединений / В.В. Качко, Д.Н. Курицын, А.Г. Бойцов // Вест. МАТИ. – 2012. Вып. 19 (91). – С. 156–162.

3. Бойцов А.Г., Люшинский А.В., Баранов А.А. Сварка трением с перемешиванием корпусных деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 7. – С. 3–11.

4. Рябченко А.В. Организационно-экономический механизм функционирования интегрированных структур ракетно-космической промышленности [Текст]: дис. ... канд. техн. наук.: 08.00.05/ А.В. Рябченко. – СПб, 2014. – 157 с.

5. Албагачиев А.Ю. Актуальность метода сварки трением с перемешиванием и рассмотрение дальнейшего развития и перспектив данного способа сварки./ А.Ю. Албагачиев, Г.Ю. Иванов,

А.Д. Фролов // Сборник докладов Российской научно-технической конференции с международным участием. Москва, 5–12 апреля 2021 г. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, Том 2. – 2021. – С. 314–319.

6. Бойцов А.Г. Высокоскоростная сварка трением с перемешиванием авиационных материалов и конструкций // А.Г. Бойцов, В.В. Качко, Д.Н. Курицын // Металлообработка. – Вып. №5-6 (77-78), 2013. – С.35–42.

7. Шачнев С.Ю. Отработка технологии сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов 1570С, АМг6 большой толщины для использования в перспективных разработках РКК Энергия / С.Ю. Шачнев, В.А. Пашенко, И.Д. Махин, А.В. Базескин, А.Д. Дубовицкий // Космическая техника и технологии. – 2016. – № 4(15). – С. 24–30.

8. Миронов С.Ю. Формирование зеренной структуры при сварке трением с перемешиванием // Физическая мезомеханика. – Вып. 17. – 2014. – С.103–113.

Кочергин Сергей Александрович – канд. техн. наук, директор центра АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-95-45.
E-mail: S.Kochergin@tmnpo.ru

Kochergin Sergei Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Center Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495)689-95-45.
E-mail: S.Kochergin@tmnpo.ru

Домрачев Георгий Михайлович – ведущий научный сотрудник АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-97-11.
E-mail: domrachev@tmnpo.ru

Domrachev Georgiy Mikhailovich – Leading Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495)689-97-11.
E-mail: domrachev@tmnpo.ru

Белавин Алексей Игоревич – начальник отделения АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-95-45.
E-mail: A.Belavin@tmnpo.ru

Belavin Aleksei Igorevich – Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495)689-95-45.
E-mail: A.Belavin@tmnpo.ru

Свиридова Татьяна Сергеевна – канд. техн. наук, доцент, ведущий специалист АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-93-22.
E-mail: T.Sviridova@tmnpo.ru

Sviridova Tatiana Sergeevna – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor, Leading Specialist of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495)689-93-22.
E-mail: T.Sviridova@tmnpo.ru

Титкин Александр Васильевич – начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-97-00
E-mail: Al.Titkin@tm.fsa

Titkin Alexander Vasilyevich – Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495)689-97-00
E-mail: Al.Titkin@tm.fsa

Витол Игорь Игоревич – руководитель направления АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-97-68.
E-mail: I.Vitol@tm.fsa

Vitol Igor Igorevich – Area Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495)689-97-68.
E-mail: I.Vitol@tm.fsa

УДК 629.7:658.5

*Матвеев Ю.А., Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С.
Matveev Yu.A., Panteleev K.D., Rakhmievich E.G., Iurtsev E.S.*

Концепция многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития космической отрасли

Concept of multi-level forecasting and planning of technological development of the space industry

Рассмотрены особенности прогнозирования в целях обоснования перспектив технологического развития отрасли. Обоснована необходимость совершенствования методологии и организации работ в области технологического прогнозирования. Показаны основные этапы создания, обобщенная структура, функции и вопросы практического применения комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития предприятий ракетно-космической промышленности в интегрированной системе технологического обеспечения цикла «разработка-производство». Рассмотрены основные аспекты организации прогнозирования на предприятиях отрасли.

The features of forecasting for the justification of the industry's technological development prospects are considered. Necessity to improve the methodology and organisation of researches in the field of technological forecasting was substantiated. The basic steps of creation, generalised structure, functions and questions about practical application of a complex system of multi-level forecasting and planning for technological development of aerospace industry enterprises in the integrated system of technological support for the cycle «development-production» are shown. The basic aspects of the organisation of forecasting at the industry enterprises are considered.

Ключевые слова: производственная система, конструкторско-технологическое решение, ракетно-космическая техника, жизненный цикл, космические средства, прогнозирование, планирование, технологическое обеспечение, эффективность, база знаний, база данных.

Keywords: production system, design and engineering solution, aerospace equipment, life cycle, space vehicles, forecasting, planning, process support, efficiency, knowledge base, data base.

Введение

В настоящее время в ракетно-космической промышленности (РКП) имеет место практика прогнозирования в целях обоснования перспектив технологического развития отрасли. Возросшие требования к управлению эффективностью технологического обеспечения производственной деятельности предприятий РКП диктуют необходимость ее дальнейшего совершенствования.

Для решения задач по пересмотру подходов к разработке программных и плановых документов развития технологий требуется осуществление ряда мероприятий по совершенствованию методологии и организации работ в области технологического прогнозирования, а также формирования новых требований к созданию единой информационной основы для разработки многовариантных прогнозов технологического развития отрасли и создания

единой методологической базы для автоматизации прогнозных исследований [1, 2, 3, 4, 5].

В статье изложены концептуальные аспекты по созданию комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития (КСПП ТР) предприятий РКП (рис. 1, табл. 1).

Под комплексностью прогнозирования понимается разработка взаимосвязанного по уровням планирования программ создания и производства отраслевой номенклатуры изделий ракетно-космической техники (РКТ) («отрасль–интегрированные структуры – предприятия») прогноза развития технологии с учетом прогнозов развития конструкций изделий, материалов, технологий, экспериментальной и производственной баз отрасли [1, 2, 3, 6, 7].

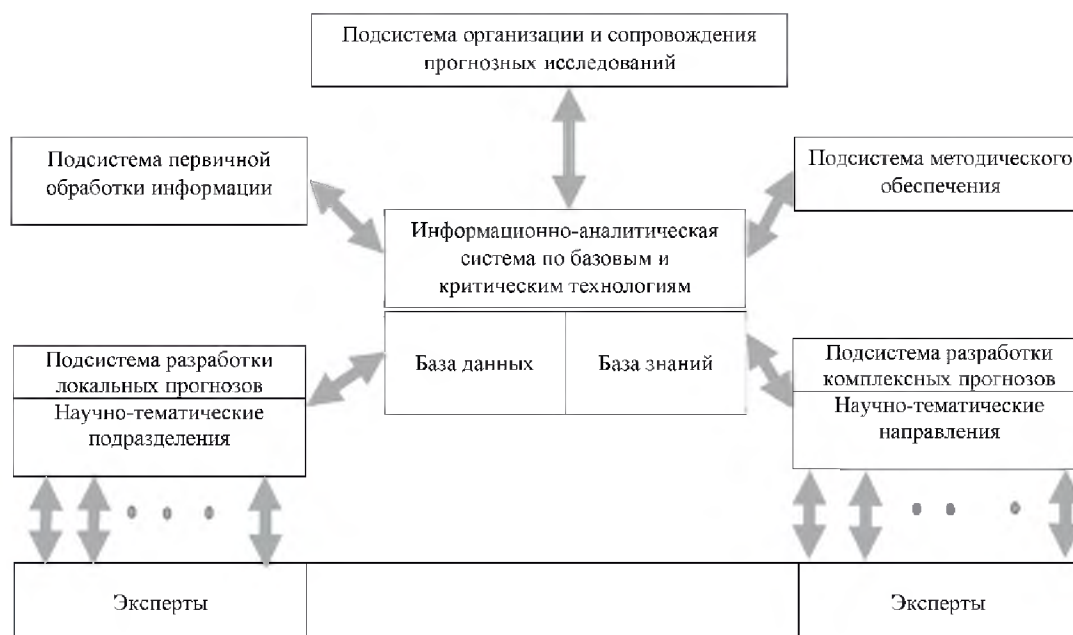


Рис. 1. Обобщенная структура и функции комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития РКП

Таблица 1. Обобщенная структура и функции комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития РКП

Подсистема организации и сопровождения прогнозных исследований	Подсистема первичной обработки информации	Подсистема разработки локальных прогнозов	Подсистема разработки комплексных прогнозов	Подсистема методического обеспечения
1. Заключение договоров на проведение исследований	1. Сбор, анализ и обработка информации по закрепленным направлениям	1. Разработка и согласование ТЗ на прогнозные исследования	1. Анализ и обобщение результатов локальных прогнозов	1. Разработка, согласование и внедрение научно-методических материалов по проведению прогнозных исследований
2. Оценка трудоемкости, стоимости и сроков проведения прогнозов	2. Анализ и обработка патентной информации	2. Анализ информации по выбранному направлению исследований	2. Формализация и анализ сложных объектов прогнозирования	2. Разработка общей методологии прогнозных исследований в отрасли
3. Подготовка, согласование и выдача ТЗ на проведение комплексных исследований	3. Создание рабочих массивов информации	3. Выбор и формализованное описание объекта прогнозирования	3. Разработка комплексных моделей сложных технологических объектов	3. Постановка прогнозных задач в ИАС в соответствии с рабочими методиками по прогнозированию технологии

Продолжение табл. 1

4. Координация работ по прогнозированию	4. Разработка объектно-документальных схем	4. Выбор методов прогнозирования и верификации	4. Разработка комплексных прогнозов сложных технологических объектов	4. Совершенствование методов прогнозирования применительно к технологии отрасли
5. Контроль за выполнением типовых этапов работ	5. Ведение и корректировка информационных моделей, классификаторов, кодификаторов и т.п.	5. Разработка локальных прогнозов по выбранным объектам	5. Техно-экономический анализ прогнозов	5. Запись и хранение разработанных методических материалов в базе знаний ИАС
6. Передача разработанных материалов на утверждение, направление результатов прогноза Заказчику	6. Поиск и корректировка информации в базе данных	6. Поиск аналогов и их характеристик в базе данных	6. Создание рабочих массивов прогнозной информации по сложным объектам	6. Разработка концепции и предложений по совершенствованию КСНП ТР РКП и методическое обеспечение системы
7. Хранение и тиражирование материалов о результатах комплексных прогнозов в БД ИАС	7. Сбор, анализ и обобщение показателей из информационных источников для наполнения информационных моделей (таблиц уровней характеристик)	7. Техно-экономический анализ прогнозов	7. Запись и корректировка в базе данных результатов комплексных прогнозов	7. Публикация разработанных научно-методических материалов
8. Планирование перспективных прогнозных разработок с учетом непрерывного цикла прогнозных исследований	8. Статистический анализ источников информации	8. Разработка прогнозных моделей для своей области знаний	8. Обработка данных с применением алгоритмов и средств математического моделирования ИАС	8. Передача разработанных научно-методических материалов пользователям или заказчику
		9. Заполнение базы данных прогнозными значениями показателей и других результатов	9. Формирование перспектив развития технологии	
		10. Обработка данных с применением алгоритмов ИАС	10. Выпуск итоговых материалов и передача их заказчику	
		11. Передача материалов с результатами локальных прогнозов в БД отраслевой ИАС для заказчиков и внутренних пользователей		

Представленные мероприятия прогнозирования направлены на повышение качества управления эффективностью технологического обеспечения создания и производства с ранних стадий жизненных циклов изделий (ЖЦИ) РКП [6, 7].

Необходимо отметить, что представленная система входит в состав отраслевой системы технологического обеспечения создания и производства изделий РКП (СТОб) и ориентирована на реализацию контура «прогноз-программа-план» в рамках отраслевой информационно-аналитической системы (ИАС) по базовым и критическим технологиям [8,9,10]. Место КСПП ТР РКП в ИАС показано на рис. 2.

Концепция КСПП ТР РКП определяет порядок организации на базе АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» как головной научно-исследовательской организации РКП (ГНИО РКП) по технологическому развитию централизованной системной работы по выявлению тенденций развития технологий, определению приоритетов для обоснованного планирования и сбалансированного распределения ресурсов по уровням управления в рамках десятилетнего цикла разработки программных и плановых документов [3, 8, 9, 10].

При практической реализации Концепции основополагающая роль в организации и форми-

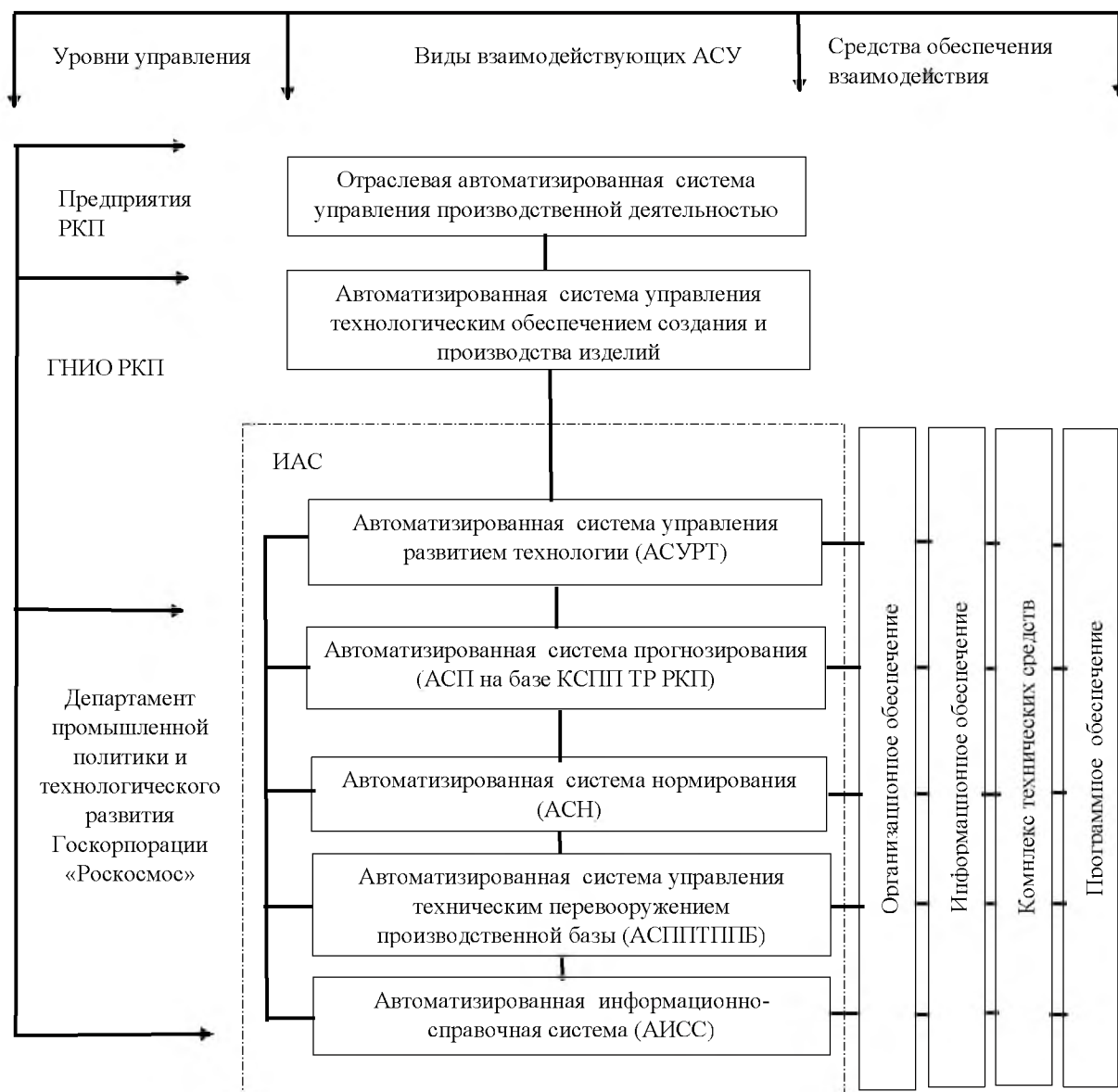


Рис.2. Место комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития РКП в отраслевой ИАС по базовым и критическим технологиям



ровании научно-технической стратегии технологического развития отрасли отводится Управлению технологическим развитием РКП в составе АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева», основными задачами которого в рамках КСПП ТР РКП являются:

- постановка задач при проведении всех видов прогнозных исследований по уровням планирования «отрасль – интегрированные структуры – предприятия», в том числе по выявлению тенденций развития как отдельных технологических направлений, так и технологии в целом, назначению приоритетов развития, подготовкой предложений в планы НИР и НИОКР;
- организация информационного обмена и формирование информационных потоков между разработчиками прогнозов в контуре РКП и за его пределами;

Цели, задачи и методы прогнозирования

Целью прогнозирования в КСПП ТР РКП является выявление и оценка возможного потенциала технологического развития отрасли на долгосрочную перспективу и обоснование мероприятий по его реализации.

Задачи перспективного технологического развития, которые необходимо решать АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева», носят комплексный характер и включают:

1. Выявление тенденций развития технологии, определение намечающихся структурных сдвигов в развитии отраслевой технологии, оценку имеющихся новых технологий и назначение приоритетов развития.
2. Научное технико-экономическое обоснование перспектив развития технологических направлений, сроков разработки и объемов выпуска средств технологического оснащения (СрТО).
3. Обоснование перспективных программ и планов, в том числе:
 - основных направлений технологического развития отрасли на 10 лет;
 - материалов в индустриальную модель производственной системы отрасли на 10 лет;
 - отраслевых комплексных программ технологического обеспечения создания и производства космических систем и развития новых направлений;

- формирование заказов на постановку фундаментальных и поисковых НИР для организаций РАН и вузов России;

- подготовку рекомендаций по составу привлекаемых контрагентов.

Решение указанных задач позволит определить перспективы и основные направления развития технологий отрасли, схемы размещения и развития производств предприятий РКП, которые трансформируются в планы реконструкции, технического перевооружения, капитального строительства. Выявление новых технологий на базе результатов фундаментальных исследований, а также перспективы создания опережающих, прорывных технологий составят основу формирования отраслевой базы знаний и базы данных перспективных конструкторско-технологических решений (КТР) и планов развития экспериментально-испытательной базы отрасли.

- пятилетних и годовых планов.

Структура целей и задач прогнозирования приведена на рис. 3.

Необходимо отметить, что среди задач, которые необходимо решать в рамках рассматриваемой системы, можно выделить наиболее слабоструктурированные в настоящее время и являющиеся первоочередными [3, 9, 11, 12, 13]. Перечень таких задач представлен в табл. 2.

Вместе с тем необходимо отметить наличие в отрасли достаточно развитой системы методов прогнозирования характеристик программ создания и производства изделий РКП в планируемый период [1, 2, 3, 5, 6, 7, 9].

В зависимости от сроков прогноза и состава исходной информации методы прогнозирования делятся на три группы: экстраполяционные, эвристические, комбинированные [1]. Так для прогнозных исследований на отраслевом уровне с глубиной прогноза 10 лет целесообразно использование эвристических методов, а для выполнения краткосрочных (до 3 лет) локальных прогнозов поведения показателей отдельных видов технологий на уровне предприятий в зависимости от качества статистического материала могут быть применены экстраполяционные или комбинированные методы.

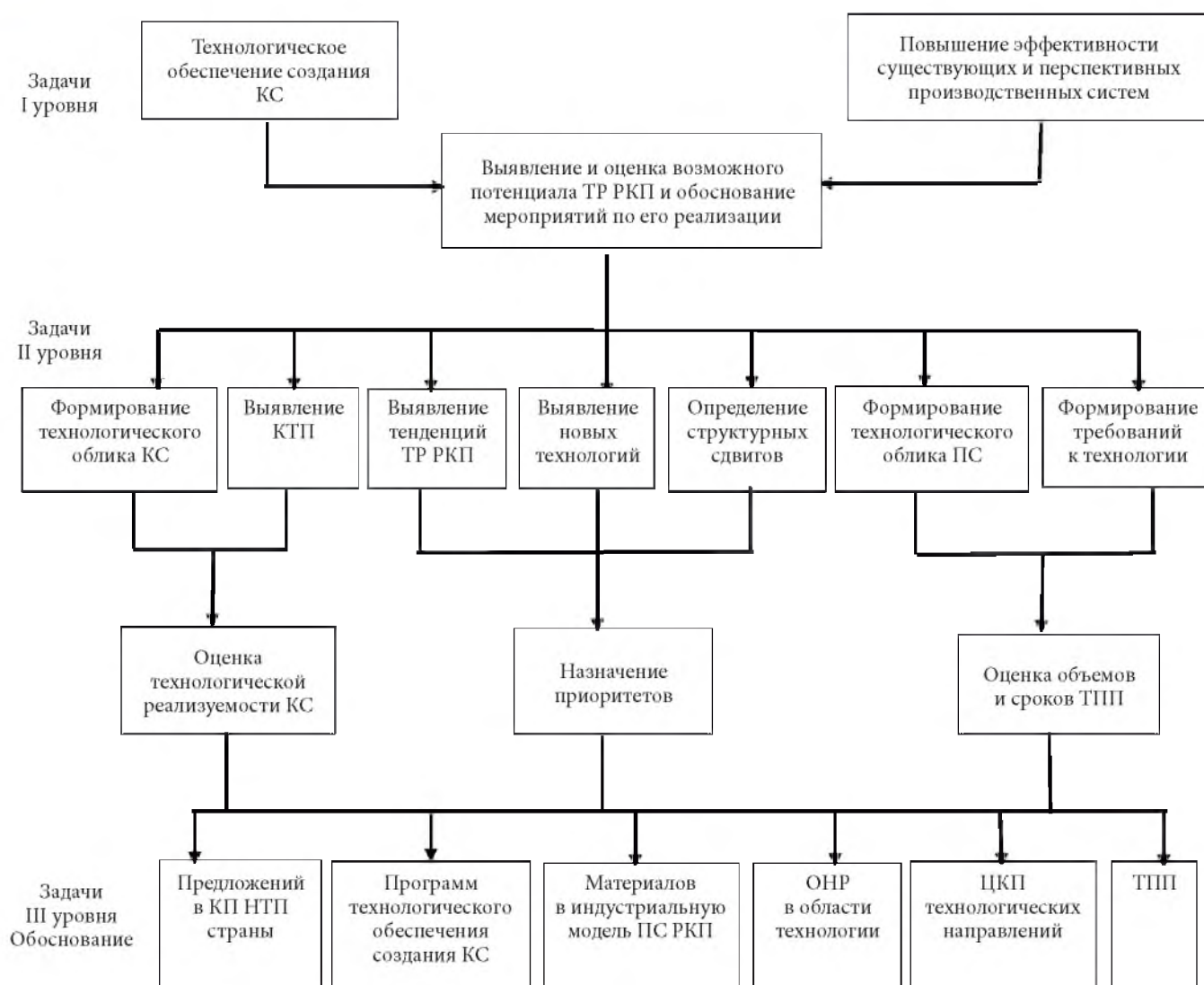


Рис.3. Структура целей и задач прогнозирования

Таблица 2. Перечень слабоструктурированных первоочередных задач прогнозирования

Наименование задачи	Причины
Выявление перспективных технологий, особенно на стыке направлений и СрТО	Отсутствие методического и программно-модельного обеспечения, недостаточное количество специалистов, недостаточная организация работы экспертов, отсутствие заказчиков
Определение научно-технологических прорывов, структурных сдвигов	
Формирование технологического облика производств	
Назначение приоритетов	
Технико-экономическое моделирование СТОб (особенно технологическая подготовка производства, техническое перевооружение производственной базы)	

Цикличность, непрерывность и комплексность прогнозирования

В основу функционирования КСПП ТР РКП положен принятый в отрасли десятилетний цикл разработки перспективных программ и планов, регламентирующий необходимую периодичность локальных и комплексных прогнозов. На рис. 4 представлен десятилетний цикл прогнозирования и место комплексного прогноза в системе «прогноз–программа–план».

Комплексность прогнозирования обеспечивается на основе обобщения результатов локальных прогнозов развития отдельных видов технологии и другой отраслевой информации, выборе и согласовании показателей по уровням «отрасль–интегрированные структуры–предприятия», характеризующих состояние и уровень развития технологии отрасли для установленных в технических заданиях (ТЗ) объектов прогнозирования, в том числе:

1. Технологических процессов.
2. СрТО.
3. Техничко-экономических и целевых показателей и др.

Состав отраслевой информации для формирования комплексного прогноза представлен на рис. 5. Состав документов и показателей, формируемых в рамках комплексного прогноза, пред-

ставлен на рис. 6. Типовая структура совокупности объектов технологического прогнозирования приведена на рис. 7.

Комплексность прогноза развития технологии пока не обеспечена по следующим причинам:

- отсутствуют организационные и методические отраслевые документы, программно-модельное обеспечение по формированию и увязке прогнозов развития конструкций, материалов, технологии, экспериментально-испытательной и производственно-технологической баз отрасли;
- в достаточном объеме не проводятся оценки технического уровня и прогнозы производственной базы отрасли.

Непрерывность прогнозирования обеспечивается путем организации в рамках десятилетнего цикла разработки перспективных программ и планов постоянного анализа на предприятиях РКП изменяющихся требований к технологии со стороны конструкций и материалов, определения тенденций и уровня развития технологии.

Взаимосвязь процедур прогнозирования и управления представлена на рис. 8, 12. Методология проведения прогнозных исследований представлена на рис. 9, 10, 11 [1, 3, 8, 9, 10, 11, 12].

Место прогнозирования в отраслевой системе технологического обеспечения создания и производства изделий РКТ

С ростом сложности и наукоёмкости изделий РКТ и технологии усложняется весь комплекс процедур технологического обеспечения цикла «разработка–производство», существенно повышается его информационная и ресурсная ёмкость. Интенсификация всего процесса «разработка–производство» все в большей степени зависит от совершенства исследований в области технологического прогнозирования, ориентированных на решение задач этого цикла.

Разработка прогнозов в рамках КСПП ТР РКП служит для обоснования программ технологического обеспечения создания и производства изделий (систем) РКТ. Непрерывность и комплексность прогноза реализуется в постоянном анализе изменения состояния работ по созданию изделий, начиная с ранних стадий ЖЦИ РКТ (НИР, аванпроект (АП(ТП)), эскизный проект (ЭП)),

путем формирования технологического облика изделий и массива конструкторско-технологических проблем с назначением приоритетов для их реализации (методами целевого прогнозирования) и оценкой их технологической реализуемости (методами нормативного прогнозирования). Полученные данные служат основой для формирования программ технологического обеспечения изделий.

Завершается работа по прогнозным исследованиям на стадиях ЭП и разработки документации на опытное изделие (РДОИ) формированием предложений в план технологической подготовки производства (ТПП) в условиях известного размещения заказа на заданном предприятии. Место прогнозирования в интегрированной системе технологического обеспечения цикла «разработка – производство» показано на рис. 12 [9, 13, 14].

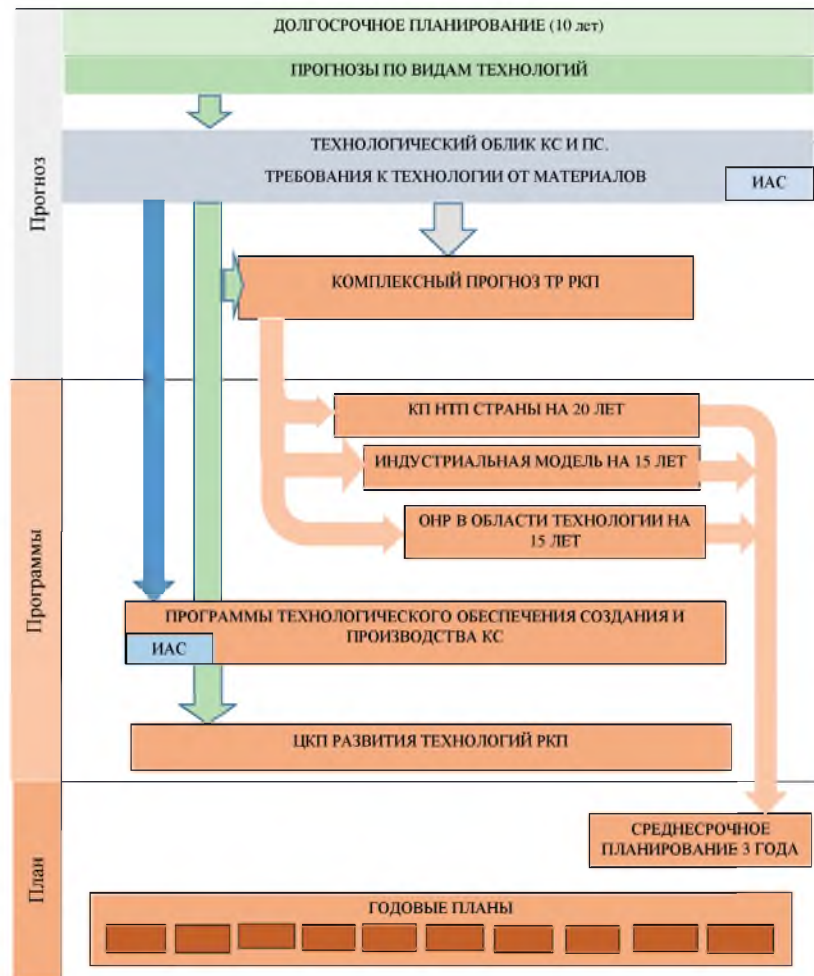


Рис. 4. Цикл прогнозирования и место комплексного прогноза в системе «прогноз–программа–план»



Рис. 5. Состав отраслевой информации для формирования комплексного прогноза

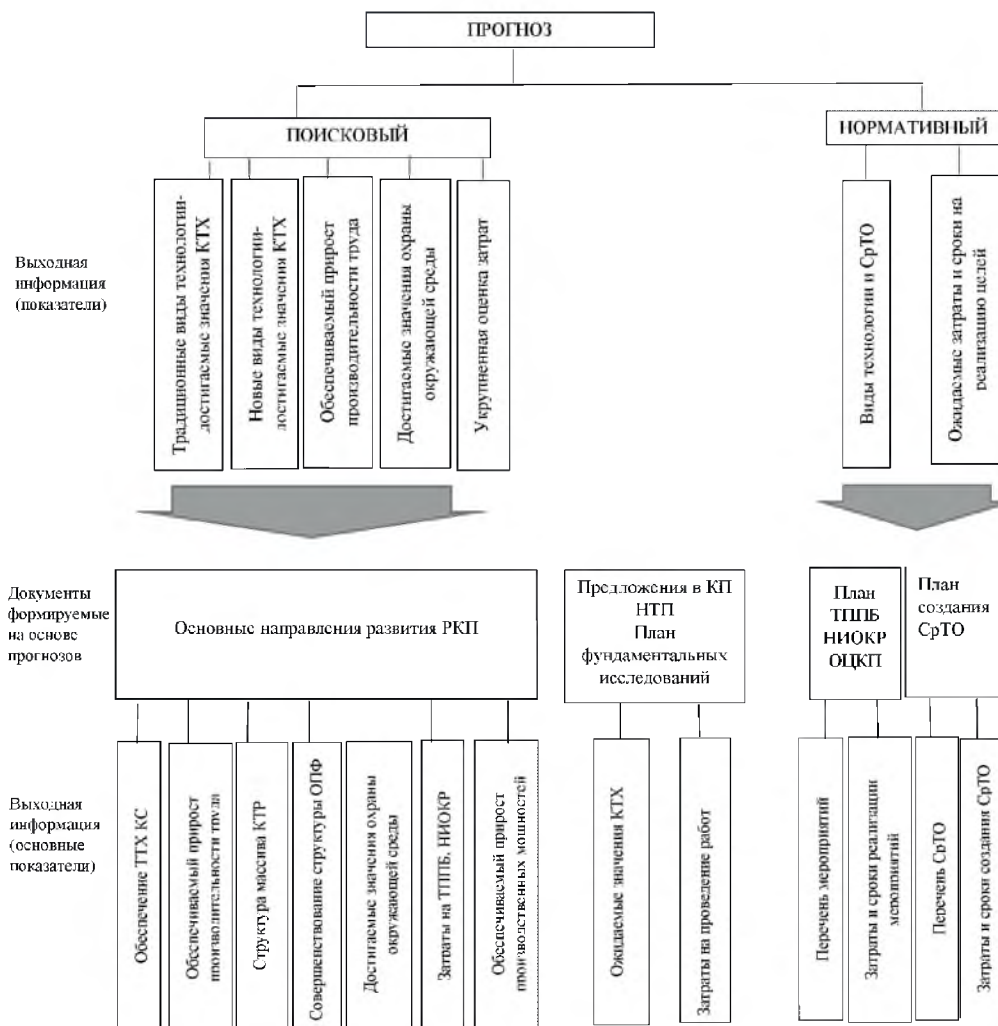


Рис.6. Состав документов и показателей, формируемых в рамках комплексного прогноза

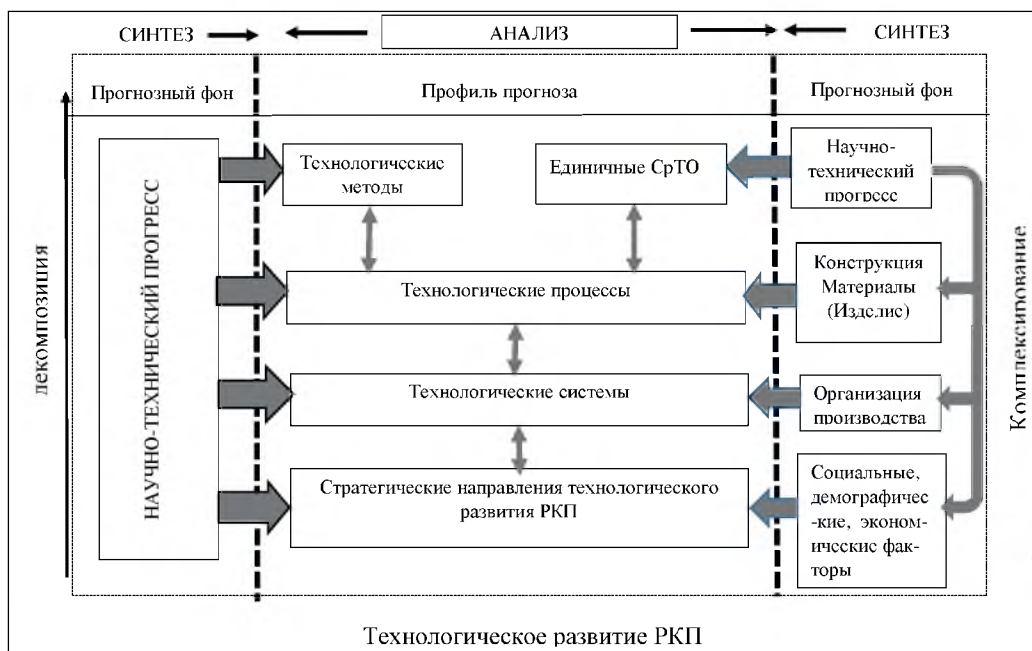


Рис. 7. Типовая структура объектов технологического прогнозирования

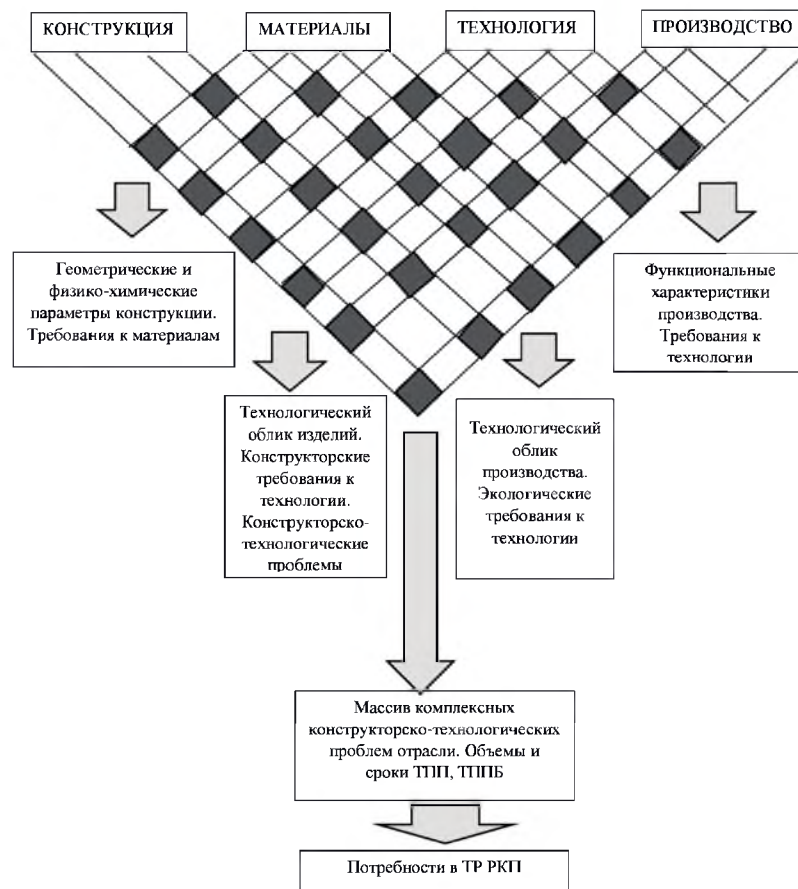


Рис. 10. Методология проведения прогнозных исследований (выявление направлений технологического развития РКП)

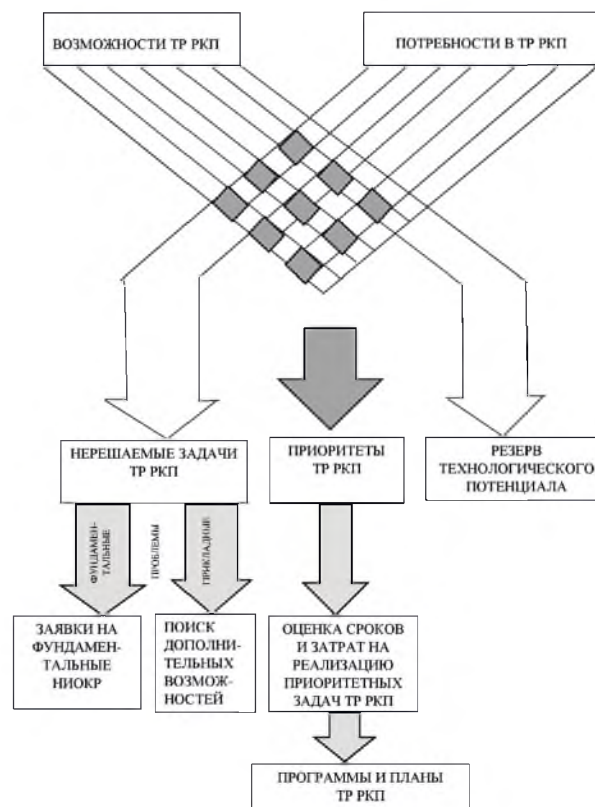


Рис. 11. Методология проведения прогнозных исследований (нормативный прогноз технологического развития РКП)

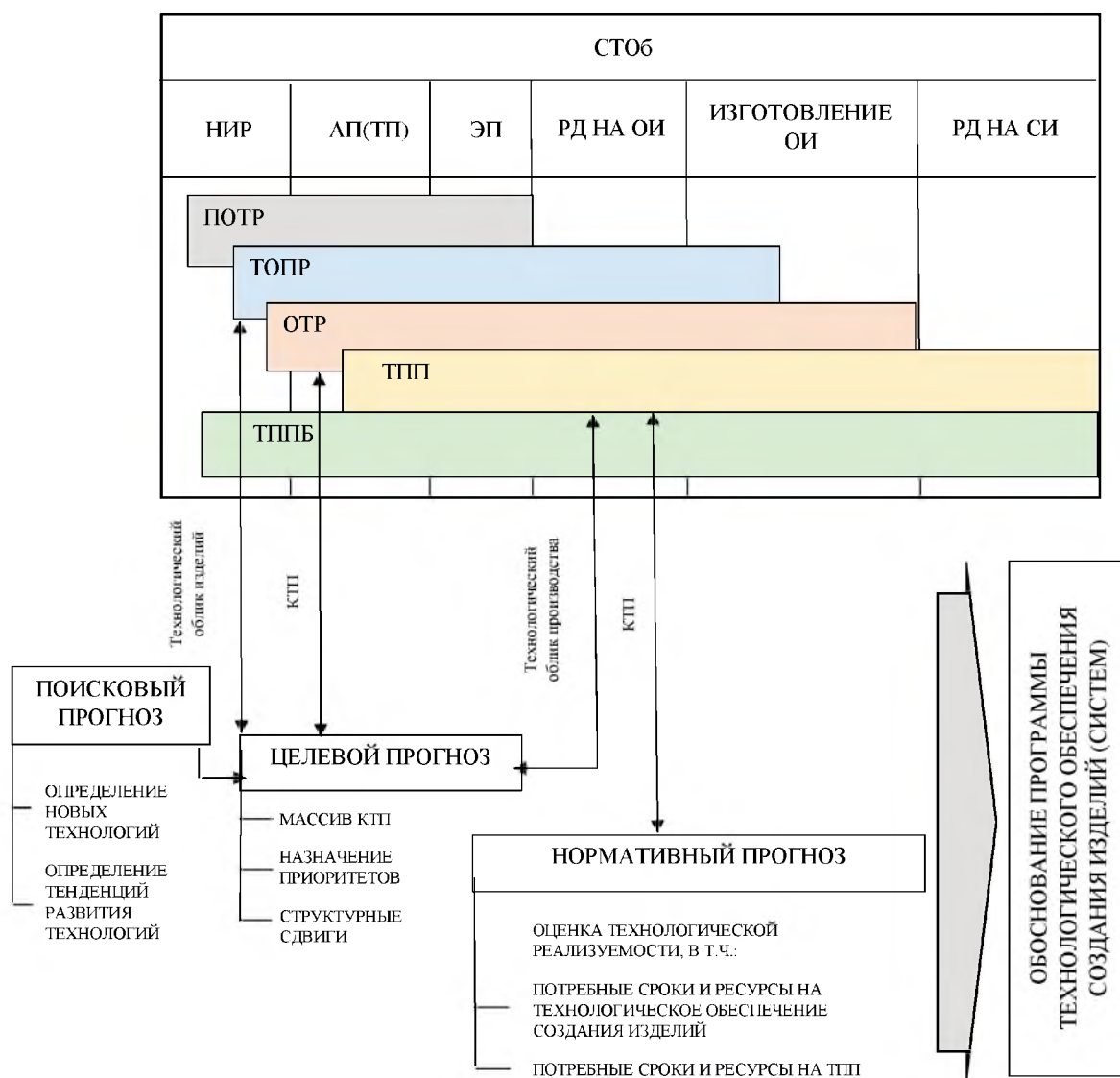


Рис. 12. Место прогнозирования в интегрированной системе технологического обеспечения цикла «разработка–производство»

Организация прогнозирования на предприятиях отрасли

Организация и порядок проведения работ, а также использование результатов прогнозов в управлении развитием технологии отрасли устанавливаются в соответствии с ГОСТ Р 59680-2022 «Комплексная система управления научными исследованиями и разработками, Прогнозирование и стратегическое планирование научно-технологического развития».

Процедуры проведения прогнозных исследований и распределение функций между исполнителями определены следующим образом:

1. На этапе предпрогнозных исследований происходит сбор и предварительная аналитико-синтетическая обработка научно-технической

информации, на основе которой формируются базовые модели объекта прогнозирования, отражающие ретроспективный период его развития и современное состояние. Полученные данные заносятся в базу данных технологий.

2. АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» проводит анализ состояния работ по системам (изделий) и материаловедению и формирует технологический облик перспективных изделий, выявляет комплексные технологические проблемы (КТП), проводит сравнительный анализ уровня отечественной и зарубежной технологии.

3. По результатам проведенных исследований АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»



формирует цели для прогнозирования технологии, определяет объект прогнозирования (отдельные виды технологических процессов, комплекс технологических процессов изготовления изделий, структуру видов технологии и т.п.), составляет технические задания на прогнозирование с определением характеристик объекта прогнозирования и утверждает его у заказчика.

4. Тематические подразделения ГНИО РКП, интегрированных структур и предприятий отрасли проводят прогноз развития видов технологии по своим направлениям, на базе которых АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» формирует комплексный прогноз развития технологии с учетом развития конструкции, материалов, экспериментально-испытательной и производственной баз отрасли.

5. На основании прогнозных разработок формируются предложения в отраслевые программы и межпрограммные документы отрасли:

- стратегия технологического развития отрасли;
- Индустриальная модель Госкорпорации «Роскосмос»;
- Программа инновационного развития Госкорпорации «Роскосмос»;
- Программа цифровой трансформации Госкорпорации «Роскосмос».

Выявленные по результатам прогноза тенденции развития технологии и необходимость создания новых видов технологии с установлением их приоритетов используются при разработке предложений по организации новых и реорганизации существующих специализированных подразделений в АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» и организациях РКП.

Схема организации работ представлена на рис. 13. Потребители прогнозов указаны в табл. 3.

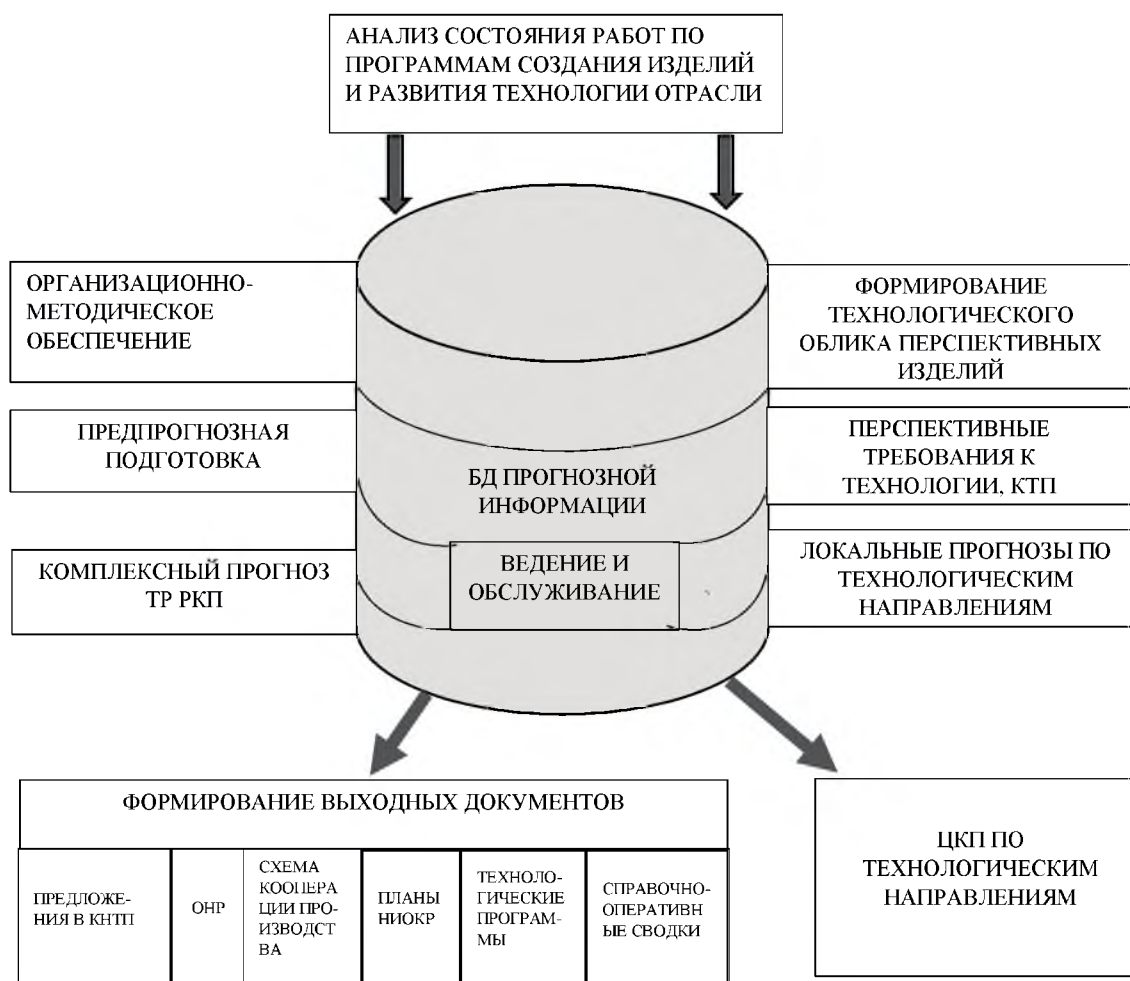


Рис. 13. Схема организации прогнозных исследований на предприятиях РКП

Таблица 3. Потребители прогнозов

Прогноз		Потребитель
По виду технологии	Комплексный	
	Затраты на реализуемость программ	Предприятие-разработчик, ГНИО РКП
	Комплексные КТР (обеспечение технологичности)	Предприятие-разработчик, АО «ЦНИИмаш»
КТР по видам технологии		Предприятия РКП, АО «ЦНИИмаш»
Перспективные требования к технологии		Предприятия РКП, АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»
Параметры технологии и СрТО		Предприятия РКП, АО «НПО «Техномаш»
Предложения в план НИОКР: – прикладных – фундаментальных – поисковых – опережающей стандартизации		ГНИО РКП
Новые технологии		ГНИО РКП, предприятия РКП
	Комплексные технологии	ГНИО РКП, предприятия РКП
	Приоритеты по фундаментальным и поисковым НИОКР	ГНИО РКП
	Структура трудоёмкости	ГНИО РКП

Этапы разработки и внедрения комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития космической отрасли

Разработанная концепция содержит описание основных элементов сложившейся к настоящему времени системы проведения прогнозных исследований в отрасли, анализ ее недостатков, обоснование необходимости обновления подхода к разработке прогнозов развития технологии, а также пути поэтапной разработки и создания КСПП ТР РКП как составной части ИАС по базовым и критическим технологиям.

1. В целях разработки и внедрения КСПП ТР РКП целесообразно:

- разработать информационные модели и программно-модельное обеспечение на основе методов аналитико-синтетической обработки научно-технической информации, заключающейся на ориентации информации на объект исследования и максимальном сжатии информации для машинной обработки;

- разработать программно-модельное обеспечение ведения больших массивов информации, основанное на структуре дерева классификации;
- разработать методическое и программно-модельное обеспечение задач выявления конструкторско-технологических проблем в автоматизированном режиме;

- сформировать в отраслевой базе знаний и базе данных массив и информационно-поисковые алгоритмы системы физических эффектов с занесением в него описания физических эффектов.

2. Довести до практической реализации основные положения КСПП ТР РКП, обеспечив решение следующих задач:

- ежегодное формирование исходных данных по целям развития и требованиям к технологии от программ создания техники и материалов;



- ежегодное назначение приоритетов поисковых НИР в целях распределения ресурсов на создание научно-технического задела;

- выявление тенденций развития технологии, сроков разработки, объемов выпуска СрТО с научным технико-экономическим обоснованием результатов;

- разработать методическое обеспечение проведения патентно-прогнозных исследований:

- при формировании тематики специализированных технологических подразделений АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» предусматривать разделы по проведению патентно-прогнозных исследований по ТЗ, согласованному с Управлением технологического развития РКП;

- ежегодное определение на основе локальных прогнозов, разрабатываемых специализированными подразделениями, намечающихся структурных сдвигов в области технологии;

- для формирования планов технического перевооружения на следующий период планирования:

выявление новых технологий на основе результатов фундаментальных исследований организаций РАН и вузов;

увязка прогнозных и плановых показателей в целях практической реализации процедур в системе «прогноз–программа–план»;

- для обоснования перспективных программ и планов ФЦП, ФКП, ГП ОПК:

формирование основных направлений развития отрасли в области технологии на 15 лет;

разработка материалов в индустриальную модель развития отрасли;

разработка программ технологического обеспечения перспективных систем техники.

3. Разработать научно-методическое и программно-модельное обеспечения практической реализации основных положений КСПП ТР РКП, в том числе:

- выявления и прогнозирования структурных сдвигов в технологии;

- выявления новых технологий на основе результатов фундаментальных исследований;

- оценки и прогнозирования технического уровня производства.

4. Разработать комплекс отраслевых методических и организационных документов по комплексному прогнозированию развития отрасли с увязкой прогнозов конструкции, материалов, технологии, экспериментально-испытательной и производственной баз.

5. Провести экспериментальную отработку КСПП ТР РКП при внедрении прогрессивных методов обработки информации, отвечающих современным требованиям научно-технического прогресса. Сформировать в ГНИО РКП новые компетенции преобразования потока первичной информации.

6. На основе полученных экспериментальных данных разработать комплекс нормативно-технических документов (систему отраслевых стандартов), отражающих все режимы и виды обеспечения КСПП ТР РКП.

Выводы

1. Обоснована необходимость совершенствования методологии и организации работ в области технологического прогнозирования, а также формирования новых требований к созданию единой информационной основы для разработки многовариантных прогнозов технологического развития отрасли и создания единой методологической базы для автоматизации прогнозных исследований.

2. Изложены концептуальные аспекты создания, обобщенная структура, функции и вопросы практического применения комплексной системы непрерывного прогнозирования технологического развития предприятий РКП.

3. Показано место комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития предприятий РКП в интегрированной системе технологического обеспечения цикла «разработка–производство».

4. Рассмотрены основные аспекты организации прогнозирования на предприятиях отрасли.

5. Изложены основные этапы разработки и внедрения комплексной системы многоуровневого прогнозирования и планирования технологического развития космической отрасли.

Библиографический список

1. Матвеев Ю.А. Методы прогнозирования характеристик летательных аппаратов: Учебное пособие. – М.: МАИ.— 2004. – 80 с.
2. Матвеев Ю.А., Щеверов Д.Н. Экономическая оценка реализации проектов ракетно-космической техники. – М.: МАИ.– 2005. – 96 с.
3. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Метод прогнозных исследований эффективности модификаций КА при комплексной замене подсистем// Вестник НПО им.С.А. Лавочкина. 2015.– №4. – С.53–59.
4. Аполлонов И.В., Пантелеев К.Д. Общесистемный подход к управлению созданием новой конкурентоспособной отечественной техники и технологии в ближайшей перспективе XXI века // Материалы 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга. – 2020 – С.333–337.
5. Гайдук В.Д., Керин И.В. Прогнозирование тенденций и направлений интенсификации подготовки производства быстроразвивающихся видов техники/ Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР.– 1985. – С. 53–57.
6. Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С. К вопросу прогнозирования показателей качества и надежности перспективных конструкторско-технологических решений // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – № 2 (15). – С. 22-24.
7. Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С. Общесистемный подход к формированию приоритетных направлений развития промышленных технологий // Вестник НПО Техномаш. – 2020. – № 3 (12). – С. 57–68.
8. Саркисян С.А., Акопов П.Л., Мельникова Г.В. Научно-техническое прогнозирование и программно-целевое планирование в машиностроении. – М.: Машиностроение.– 1987. – 304 с.
9. Исаченко В.А., Мошкин В.К. Прогнозирование в системе технологического обеспечения проектирования изделий/ Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР.– 1985. – С. 57–63.
10. Пантелеев К.Д., Цырков А.В., Чернодед И.И. Облик, архитектура и этапы создания электронной базы знаний по производственным технологиям предприятий ракетно-космической промышленности // Вестник НПО Техномаш. – 2021. – № 4. – С. 38–44.
11. Борзенков А.Д., Барканов К.В. О некотором подходе к реализации прогнозов в системе создания эффективной технологии / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР.– 1985. – С. 79–82.
12. Кочетов В.В. Унификация методов оценки и прогнозирования эффективности производства и качества техники/ Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1985. – С. 91–95.
13. Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Чернодед И.И., Захаров В.А. Основные направления НИР Технология-2025 по мониторингу обеспечения опережающего производственно-технологического задела при создании изделий ракетно-космической техники // Вестник НПО Техномаш. – 2021. – № 4. – С. 44–53.
14. Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С. Методология многокритериальной оценки и выбора наиболее приоритетных альтернатив фундаментальных исследований // Вестник НПО Техномаш.– 2020. № 4 .– С. 22–24.

Матвеев Юрий Александрович – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского.
Тел. +7(499) 158-42-88
E-mail: matveev@laspace.ru

Matveev Iurii Alexandrovich–Ph.D. in Engineering Sciences, Professor of the Moscow Aviation Institute (National Research University), Academician of the K.E. Tsiolkovsky Russian Academy of Cosmonautics.
Tel.: +7(499) 158-42-88
E-mail: matveev@laspace.ru

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел. +7(495) 689-95-26 доб.97-01.
E-mail: k.panteleev@tmnpo.ru

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: +7(495) 689-95-26 ext. 97-01.
E-mail: k.panteleev@tmnpo.ru

Рахмилевич Евгений Георгиевич – заместитель директора Департамента промышленной политики и технологического развития Госкорпорации «Роскосмос».
Тел. +7(495) 631-90-09, доб. 23-61.
E-mail: Rakhmievich.EG@roscosmos.ru

Rakhmievich Evgenii Georgievich – Deputy Director of the Department of Industrial Policy and Technology Development of State Space Corporation Roscosmos.
Tel.: +7(495) 631-90-09, ext. 23-61.
E-mail: Rakhmievich.EG@roscosmos.ru

Юрцев Евгений Сергеевич – канд. техн. наук, начальник отдела промышленной политики Департамента промышленной политики и технологического развития Госкорпорации «Роскосмос».
Тел. +7 985-273-57-34. E-mail: yurtsev@bk.ru

Iurtsev Evgenii Sergeevich – Ph.D. in Engineering Sciences, Department Head of Industrial Policy and Technology Development of State Space Corporation Roscosmos.
Tel. +7 985-273-57-34.
E-mail: yurtsev@bk.ru

УДК 629.78

Матвеев Е.В.
*Matveev E.V.***Становление и развитие в АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»
научного направления контроля геометрии масс
в производстве космических аппаратов****Establishment and development of scientific field of mass geometry control
in spacecraft manufacturing at JSC «Afanasev «NPO «Technomac»**

Рассмотрено в исторической хронологии развитие техники производственного контроля характеристик геометрии масс космических аппаратов, разработанной в 1950–1990-е годы в отечественной космической промышленности. Отмечено, что основные фундаментальные разработки оборудования и технологий измерительного контроля геометрии масс для космической отрасли сосредотачивались в НПО «Техномаш». Приведен анализ основных технических характеристик рассматриваемого оборудования.

The development of the production control technique of spacecraft mass geometry characteristics that was developed in 1950-1990s in the Russian space industry is considered in the historical chronology. It was noted that the main fundamental developments of equipment and measurement control technologies of mass geometry for the space industry were concentrated in NPO «Technomac». The main technical characteristics of the equipment under consideration are analysed.

Ключевые слова: масса, центр масс, момент инерции, тензор инерции, эллипсоид инерции, оборудование для измерений инерционных характеристик, геометрия масс космических аппаратов.

Keywords: mass, mass centre, moment of inertia, inertia tensor, inertia ellipsoid, inertia measurement equipment, spacecraft mass geometry.

С начала космической эры и до настоящего времени фундаментальные разработки оборудования для контроля характеристик геометрии масс космических аппаратов (КА) в России изначально централизованно проводились в НПО «Техномаш». Некоторые предприятия космической и оборонной промышленности в разные годы самостоятельно разрабатывали для собственных нужд измерительное оборудование для контроля

ГМ КА, однако эти разработки не имели системного характера, а некоторые из них являлись модификациями проектов НПО «Техномаш». Промышленные стенды для измерения инерционных характеристик КА традиционно разрабатываются по двум направлениям: стенды для определения массы и координат центра масс [1] и стенды для определения моментов инерции и параметров тензора и эллипсоида инерции КА [2].

Оборудование для контроля инерционных характеристик КА 1950 годов

В 1950-е годы для измерения массы (М) и координат центра масс (КЦМ) использовался метод измерения на весах. Изделие устанавливалось на трое весов в двух положениях, по реакциям в опорах определялись масса и три координаты центра масс (рис. 1а).

Для измерения моментов инерции применялся метод полифилярного (многонитяного) или бифилярного (двухнитяного) подвеса изделия. Моменты инерции изделия определялись по периодам колебаний полифиляра вокруг вертикальной оси (рис. 1б).

Стенды для определения массы и координат центра масс 1960 годов

В 60-е годы XX века возросла актуальность обеспечения высокой точности определения инерционных характеристик изделий РКТ, что потребо-

вало разработки специализированных устройств для контроля инерционных характеристик, в связи с чем разработана и стала использоваться гамма



стендов для определения координат центров масс КА типа ПН и ССБ.

Первые стенды серии ПН (рис. 2) изготавливались с центральной шаровой гидростатической опорой, свободной от влияния сухого трения, вносящего погрешности в результаты измерений.

Стенды типа ПН и ССБ имеют, кроме центральной 2, две боковые опоры 6. КА 12 уравнивают на столе станда 1 относительно центральной опоры 2 установкой гирь 11 на грузовые площадки 10, подвешенные на плечах стола, а также уравнивают относительно центральной опоры (рис. 3, стенд ПН-24, вид сверху). Затем стол наклоняют на небольшой угол с помощью вертикального перемещения одной из опор и уравнивают гири в наклонном положении.

По результатам уравнивания определяют три координаты центра масс КА.

С течением времени от гидростатической опоры отказались, заменив ее призматической (рис. 4), работающей по принципу карданового подвеса.

В опоре стенда типа ССБ применены две призмы 2, расположенные одна над другой. Грани призм расположены перпендикулярно друг к другу. В качестве материала призм и опорных подушек используется сталь, термообработанная до HRCэ 55...60. При этом коэффициент трения качения стали по стали составляет не более 0,01 мм, что некритично по сравнению с достигаемой инструментальной точностью изготовления важных частей стенда порядка 0,05 мм.

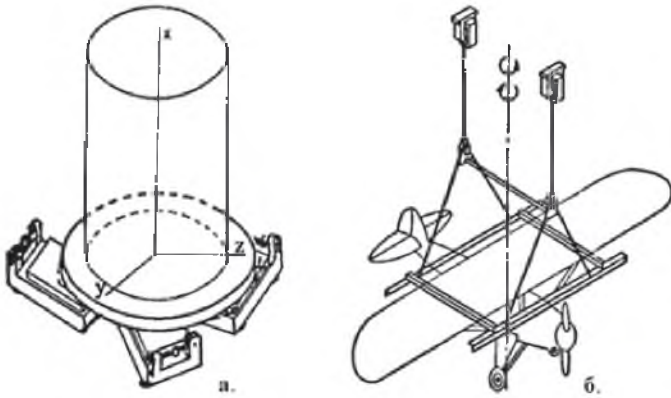


Рис. 1. Метод трех весов (а) и бифиляр (б)

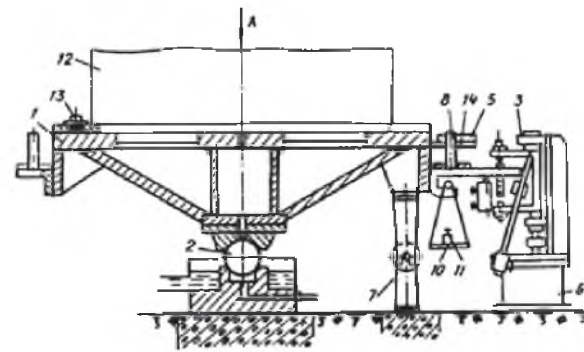


Рис. 2. Стенд ПН-24

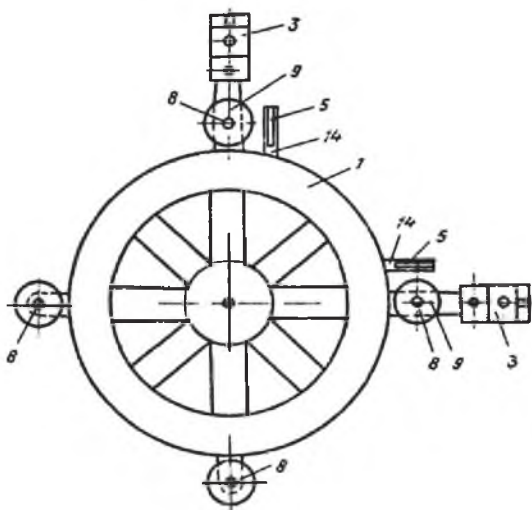


Рис.3. Стенд ПН-24. Вид сверху

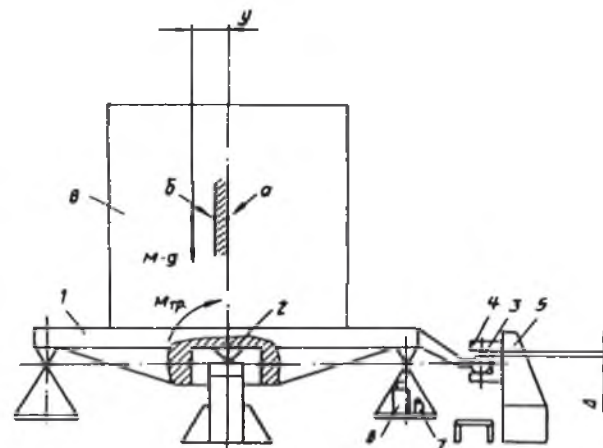


Рис.4. Стенд типа ССБ

Стенды для определения М и КЦМ 1970 годов

В 1970 годы в НПО «Техномаш» получила развитие гамма стенов типа ССБМ. В отличие от стенов типа ССБ новые стенов (рис. 5) позволяли с высокой точностью определять дополнительно и массу КА (за счет операции смещения изделия – *показано пунктиром*). Погрешность определения массы на стенов ССБМ – не более 0,05%. В целях определения массы КА на стенов ССБМ дополнительно уравнивают гири в смещенном положении, не меняя его угловой ориентации относительно стенов. Для определения вертикальной координаты стол с изделием

наклоняют и уравнивают в наклонном положении (рис. 6).

Стенов типа ССБМ получили самое широкое применение в разных отраслях производства РКТ. Их несомненное достоинство – высокая точность измерений. К недостаткам следует отнести отсутствие автоматизации, длительность и трудоёмкость измерений. Однако в некоторых случаях отсутствие электрических приборов и цепей в составе стенов является их преимуществом для применения в цехах, требующих взрывобезопасное исполнение оборудования.

Стенды для определения М и КЦМ тяжелых КА 1980 годов

Гамма стенов ССБМ разработана на диапазон масс КА от 10 кг до 20 тонн. Для более тяжелых КА разработаны стенов типа ОЦМ, работающие по принципу измерения реакций в опорах. В стенов ОЦМ-2 (рис. 7) силоизмерительные датчики расположены на тележках, перемещающихся по железнодорожной колее.

Измеряемое изделие устанавливается на ложементы, опирающиеся на силоизмерительные датчики. По реакциям датчиков определяют массу и две координаты центра

масс. Для определения третьей координаты изделие на ложементах поворачивают вокруг оси и проводят измерение реакций в опорах (рис. 8).

Самым большим по грузоподъёмности является стенов ОЦМ-3, представляющий собой траверсу с силоизмерительными блоками, за которые подвешивается изделие весом до 160 тонн (рис. 9). Стенов ОЦМ-2 и ОЦМ-3 использовались для измерения массы и координат центров масс элементов системы «Энергия»–«Буран».

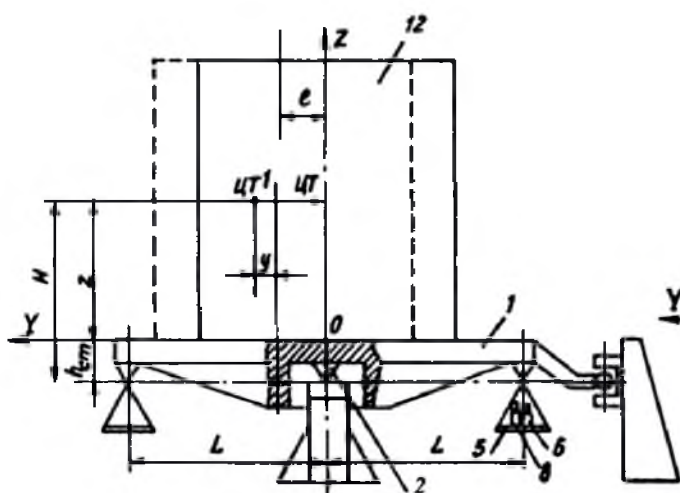


Рис. 5. Стенд типа ССБМ

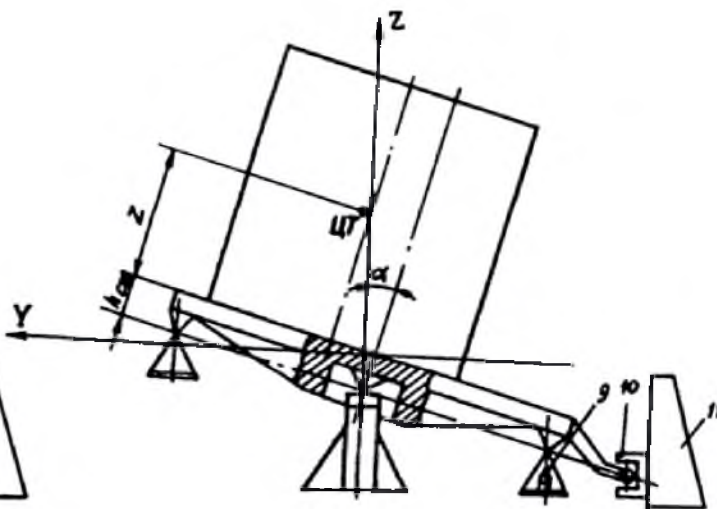


Рис. 6. Стенд типа ССБМ (наклонен)



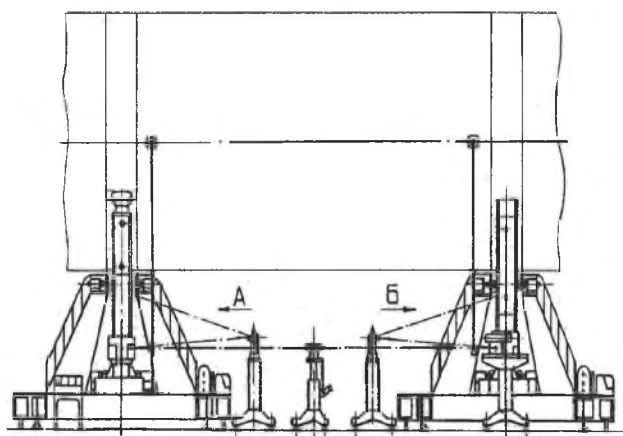


Рис. 7. Стенд ОЦМ-2

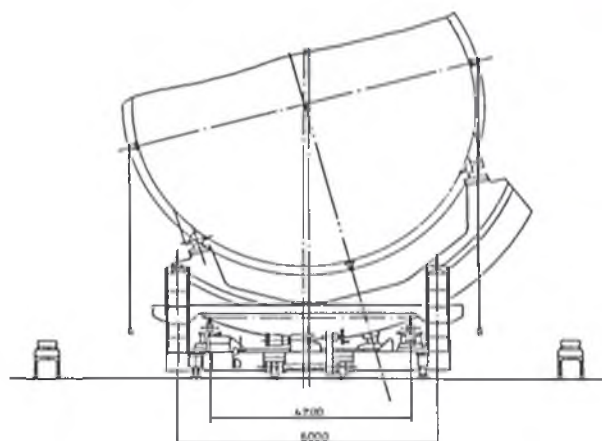


Рис. 8. Стенд ОЦМ-2

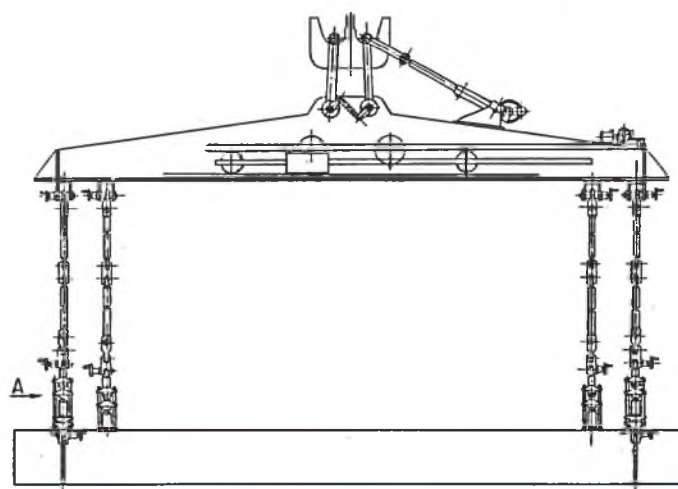


Рис. 9. Стенд ОЦМ-3

Определение моментов инерции КА в 1960 годы

Второе направление разрабатываемого НПО «Техномаш» оборудования для измерения инерционных характеристик КА – промышленные стенды для определения моментов инерции и параметров эллипсоидов инерции.

Как отмечено выше, в 50-е годы для определения моментов инерции КА применялся метод полифилярного подвеса: измерялись периоды колебания изделия, подвешенного на гибких тросах относительно вертикальной оси (рис. 1б). Отсутствие надежного базирования оси колебаний являлось существенным затруднением при обеспечении точности измерений.

Использование неподвижной и надежно связанной с системой координат КА оси, относительно которой определялись моменты инерции КА, осуществлено в конструкции стенда СИМИ-1,

работающего по принципу Машины Атвуда разработки 1960-х годов (рис. 10). Для уменьшения влияния трения применялась гидростатическая шаровая опора 6 и осевая опора 8.

При использовании Машины Атвуда существенные трудности вызывал набор статистических данных, требовавший многократное повторение измерений. Поэтому в следующей модели стендов СИМИ-2 (рис. 11), для измерения моментов инерции разработчики вернулись к методу полифиляра, но с применением материализованной оси колебаний в виде вала 1, установленного в азростатических подшипниках 2. Подвижная система подвешивалась на стальных нитях 3. В отличие от СИМИ-1 и благодаря повторяющемуся колебательному процессу при использовании стенда СИМИ-2 статисти-

ческое осреднение случайных погрешностей при измерении среднего периода большого числа колебаний уменьшает случайную составляющую погрешности измерений моментов инерции КА. Недостатками метода полифиляра являются возвратно-поступательное движение платформы с изделием по вертикали и зависимость периода колебаний не только от момента инерции, но и от массы испытуемого КА, влияющей на величину растяжения подвесов.

Стенд для измерений моментов инерции типа СИМИ-4 (рис. 12) разработан на основе принципа работы станка для динамической балансировки.

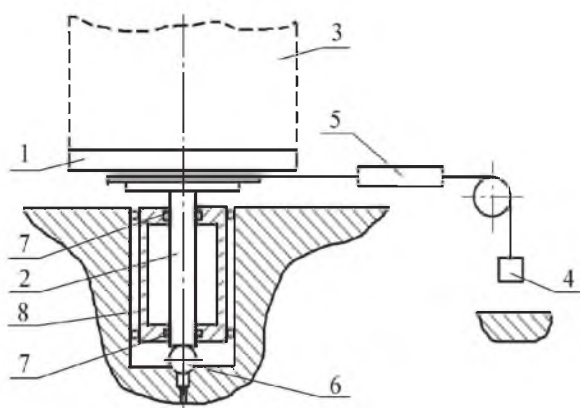


Рис. 10. Стенд СИМИ-1

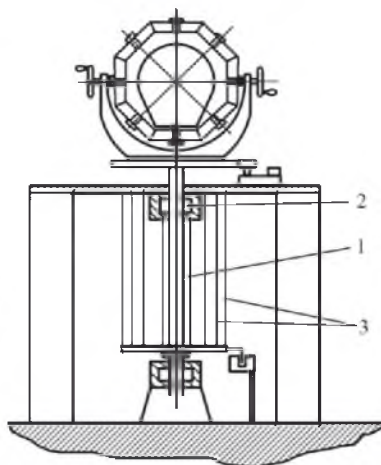


Рис. 11. Стенд СИМИ-2

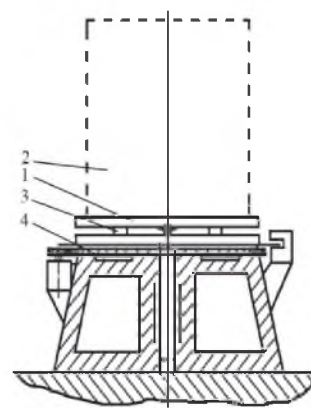


Рис. 12. Стенд СИМИ-4

Определение моментов инерции КА в 1970 годы

К середине 1970-х годов разработаны конструкции стендов СИМИ-5 (рис. 13) и СИМИ-6 (рис. 14), использующие для определения моментов инерции КА метод унифиляра, заключающийся в измерении периодов колебаний под действием упругости торсиона 1, связывающего колеблющуюся платформу 2 с корпусом стенда 3. В качестве подшипников, материализующих неподвижную ось колебаний, связанную с системой координат КА, в этих стендах применены аэростатические подшипники 4, имеющие очень малое трение.

Конструкция платформы стенда включает «глобусный стол» 5, позволяющий наклонять и разворачивать КА, обеспечивая возможность осуществлять измерение моментов инерции относительно различных непараллельных между

собой осей в системе координат КА. По результатам измерений определяется тензор инерции и направления главных осей инерции КА.

В отличие от схемы стенда СИМИ-5 в конструкции стенда СИМИ-6 КА 1 висит на торсионе 2, а не стоит на платформе с аэростатической подушкой. Аэростатический подшипник 3 становится значительно проще в изготовлении, однако на жёсткость торсиона воздействует вес КА и это изменение необходимо учитывать, что является технически сложной задачей. Кроме того схема подвешивания требует создания громоздкой оснастки. По этим причинам схема стенда типа СИМИ-5 в виде обращённого (перевернутого) унифилярного маятника получила наиболее широкое применение.



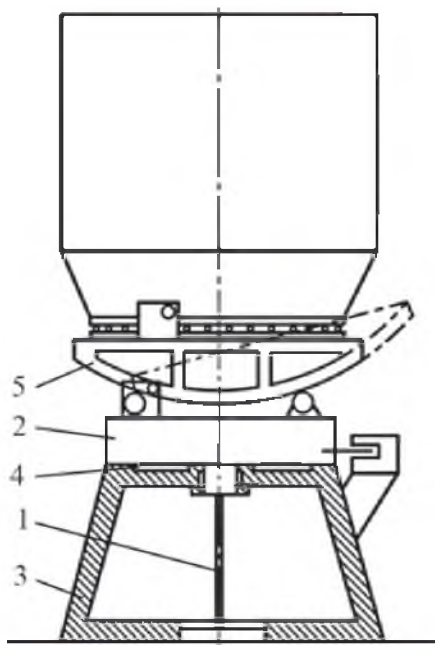


Рис. 13. Стенд СИМИ-5

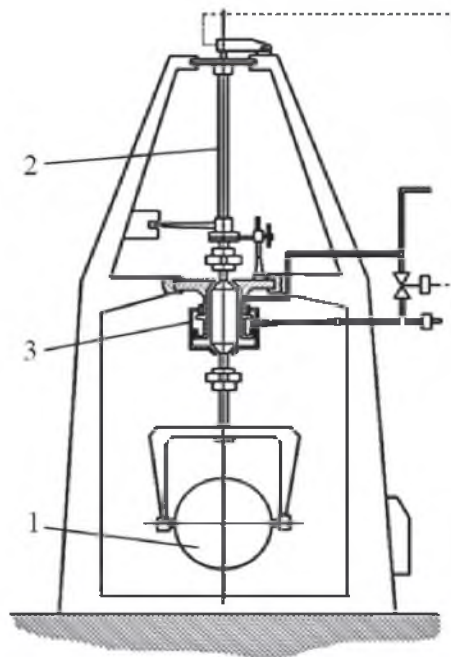


Рис. 14. Стенд СИМИ-6

Автоматизированное и универсальное оборудование для контроля инерционных характеристик КА, разработанное в 1980 годах

В 1980 годах в НПО «Техномаш» велись интенсивные научно-исследовательские работы по исследованию путей повышения точности измерений инерционных характеристик КА, универсализации разрабатываемого оборудования и автоматизации операций контроля. В эти годы по направлению контроля инерционных характеристик разработано и изготовлено несколько различных экспериментальных установок.

На экспериментальной установке СИМИ-Л (рис. 15) исследовалось влияние различных видов диссипативных, нелинейных, температурных факторов, присоединенных масс воздуха и проверялись методы уменьшения погрешностей измерений, вносимых этими факторами.

На экспериментальной установке СКГМБ (рис. 16) отрабатывались методы совмещения определения статических и динамических инерционных характеристик на базе стан­дов типа СИМИ.

На экспериментальной установке СКМИ (рис. 17) отрабатывались принципы создания конструкции измерительных траверс для измерений моментов инерции методами автоколебаний двойного физического маятника и полифиляра.

На экспериментальной установке СКМП (рис. 18) отрабатывались новая конструкция стан­да с шаровыми аэростатическими подшипниками для измерения массы и координат центра масс и возможности определения на таком стан­де моментов инерции и динамической балансировки испытуемого изделия.

Автоматизация оборудования в 1980 годах

В области разработки и производства промышленных стан­дов в 1980 годы стали широко применяться средства механизации стан­дов типа ССБМ. В конструкции стан­да типа ССБМ-14/15 (рис. 19) механизировано нагружение уравновешивающих грузов, наклон изделия, а вместо перемещения КА

для измерения массы, как это делалось на стан­дах предыдущих серий, проводится механизированная замена опоры на смещенную опору.

В модификации стан­дов типа ССБМ-16 (рис. 20) ручными остались операции нагружения контрольной грузовой площадки при точном

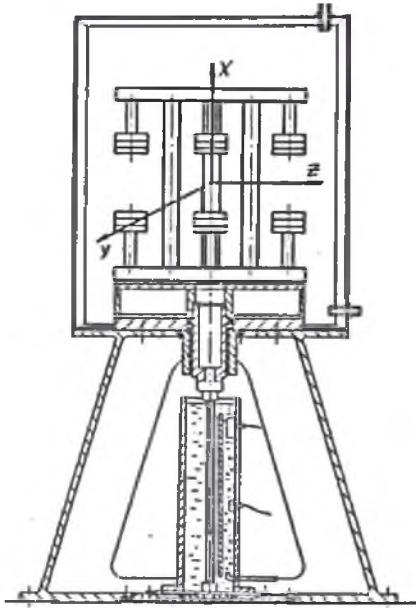


Рис. 15. Стенд СИМИ-Л

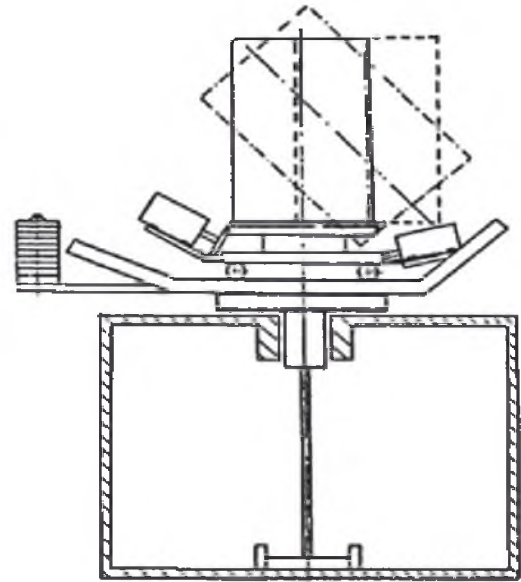


Рис. 16. Стенд СКГМБ

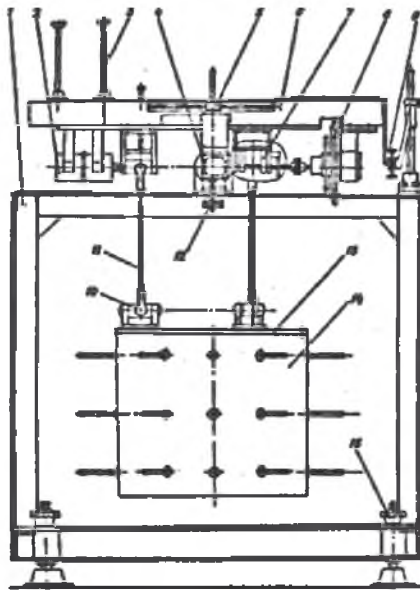


Рис. 17. Стенд СКМИ

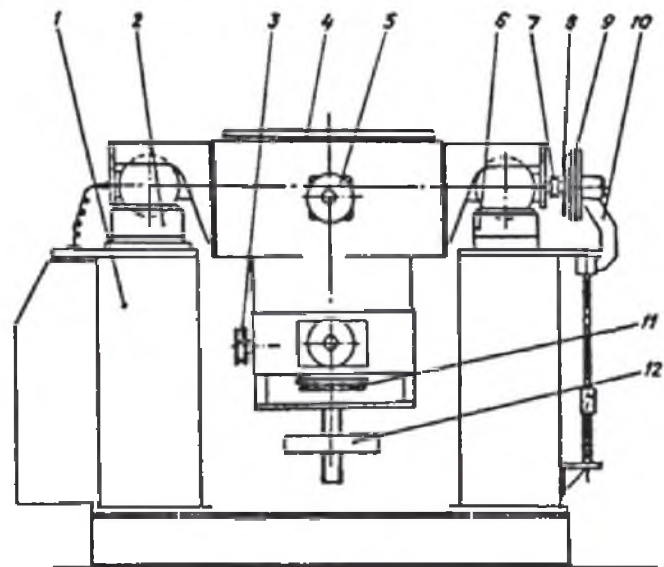


Рис. 18. Стенд СКМП



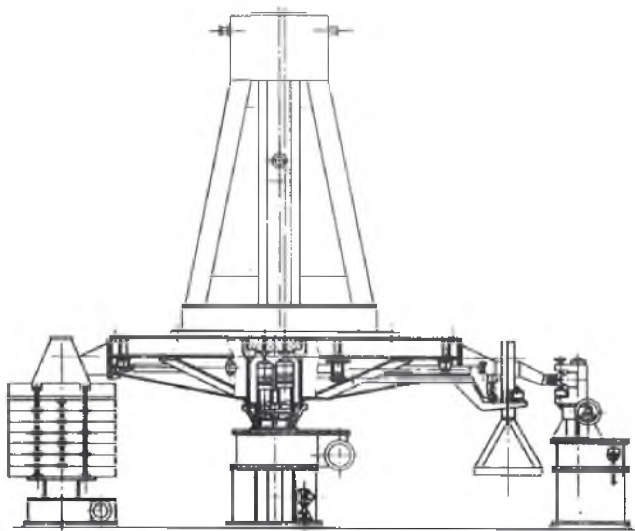


Рис. 19. Стенд ССБМ-14/15

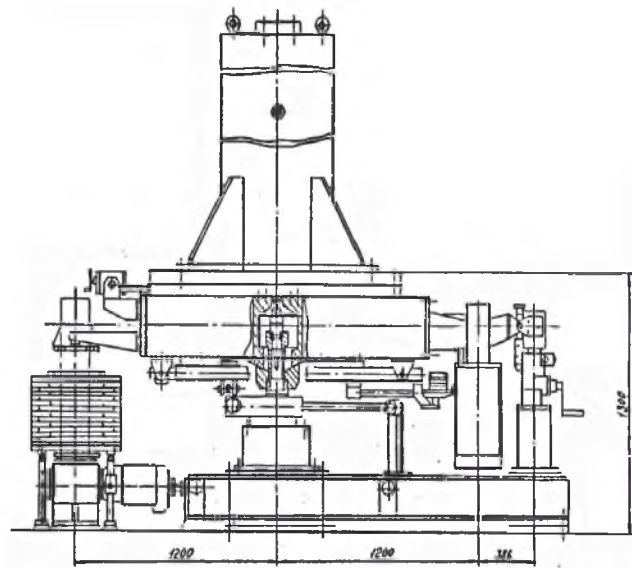


Рис. 20. Стенд ССБМ-16

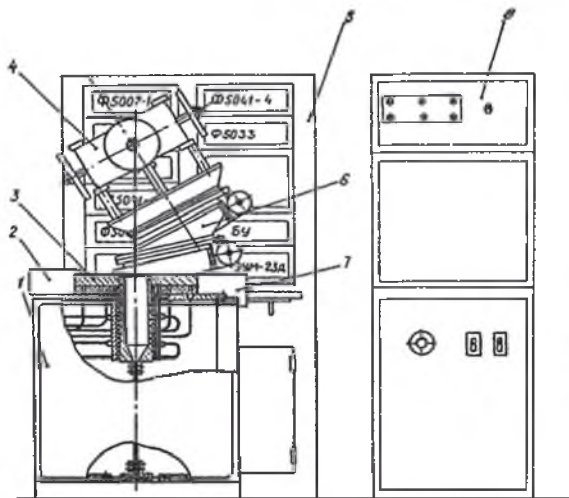


Рис. 21. ИВК на базе СИМИ-12

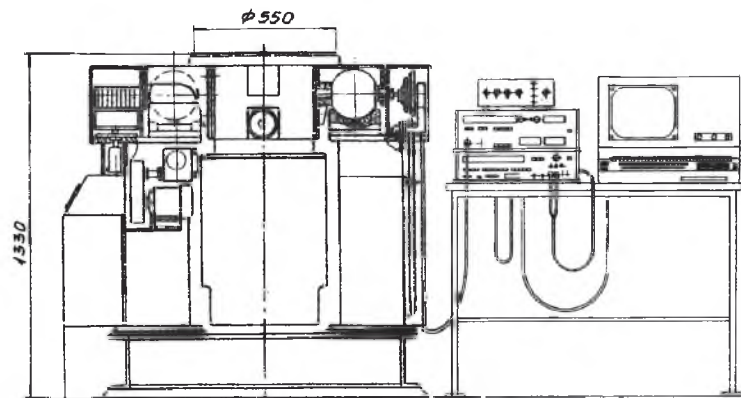


Рис. 22. ИВК на базе СБМА

уравновешивании КА. В последующей модификации стенда ССБМ-16 эти операции исключены путем механизации перемещения самого КА. После грубого уравновешивания путем механизированной установки уравновешивающих грузов проводится точное уравновешивание с помощью механизированного перемещения КА на платформе по направляющим стола в двух взаимоперпендикулярных направлениях.

Во второй половине 1980-х годов на базе вычислительной техники и средств механизации стендов разработаны измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) для автоматизации процессов измерений моментов инерции на базе стендов типа СИМИ и стендов для определения массы и координат центров масс КА типа СБМА.

Стенд СИМИ-12 (рис. 21) под управлением программы выполнял операции позиционирования КА на стенде в заданных положениях и инициализировал колебания. Периоды колебаний автоматически измерялись и по ним рассчитывались моменты инерции и все параметры эллипсоида инерции КА.

Стенд СБМА (рис. 22) под управлением ЭВМ в автоматическом режиме приводил в готовность шаровые аэростатические подшипники, проводил позиционирование КА в заданных положениях относительно оси балансировки, проводил успокоение колебаний подвижной системы перед снятием показаний с угломерных устройств стенда. Расчет массы и координат центра масс проводился по заданной программе, результаты вычислений выводились на принтер.

Одной из последних разработок 1980-х стала разработка интегрированного измерительно-вычислительного комплекса, объединяющего три вида контрольно-измерительного оборудования: стенд для измерения моментов инерции типа СИМИ, стенд для измерения массы и положения центра масс и стенд типа СБМА, работающий в режиме динамической балансировки.

Разработки НПО «Техномаш» до 1990 годов включают десятки конструкций стендов для контроля инерционных характеристик КА [3]. Большое разнообразие конструкций, когда почти для каждого нового изделия разрабатывался новый стенд, обусловлено следующими объективными факторами:

- различие требований к точности в зависимости от назначения КА;
- различное количество контролируемых инерционных характеристик;
- диапазон размеров контролируемых изделий от 0,3 до 60 м;
- диапазон масс от 0,001 до 120 тонн;
- принципиальные конструктивные ограничения для различных КА в отношении их жёсткости;
- особенности стыковочных (посадочных) поверхностей, пригодных для позиционирования на стендах;
- разнообразие форм различных КА;
- требование к совмещению с операциями общей сборки и контроля (юстировки, измерения геометрических параметров, транспортно-такелажными операциями).

Библиографический список

1. Определение моментов инерции изделий: Обзор по материалам отечественной и зарубежной печати / И.А. Зернов, А.В. Медарь, Е.В. Матвеев и др. – М.: Поиск, 1989. – С. 80.: ил.
2. Крылов В.В., Матвеев Е.В. Определение массовых параметров изделий: Обзор по материалам отечественной и зарубежной литературы. – М.: Поиск. 1990. – 93 с: ил.
3. Матвеев Е.В., Кочкин Е.В. Перспективные методы и средства контроля характеристик геометрии масс и массы: Обзор по материалам отечественной и зарубежной литературы за 1970-1990 гг. – М.: Поиск. 1991. – 61 с.: ил.

Матвеев Евгений Владимирович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»
Тел.: 8(495) 689-95-30, доб. 95-30.
E-mail: E.Matveev@tm.fsa

Matveev Eugeni Vladimirovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-95-30, ext. 95-30.
E-mail: E.Matveev@tm.fsa

УДК 621.87, 629.78

Пась О.В., Серков Н.А.
Pas O.V., Serkov N.A.

Анализ точности фрезерования остаточного полотна обечаек с вафельным фоном и синтез алгоритма коррекции на станках типа «СВО»

Analysis of accuracy of residual sheet milling of shells with orthogrid structure and synthesis of correction algorithm on «WCS» type machines

Рассмотрена технология зеркального фрезерования вафельного фона. Проведена классификация факторов, приводящих к отклонениям по толщине остаточного полотна обечайки. Определены наиболее существенные факторы и рассмотрены алгоритмы коррекции по возмущению, позволяющие компенсировать их вредное влияние на толщину остаточного полотна. Представлены результаты экспериментов, иллюстрирующие эффективность приведенных алгоритмов коррекции.

The technology of mirror milling for orthogrid structure is considered. The classification of factors that lead to deviations in the residual sheet thickness of the barrel has been performed. The most significant factors are identified and perturbation correction algorithms are considered to compensate for their detrimental effect on residual sheet thickness. Experimental results illustrating the effectiveness of the above correction algorithms are presented.

Ключевые слова: зеркальное фрезерование, вафельный фон, тонкостенные детали большого размера, программная коррекция, постпроцессор.

Keywords: mirror milling, orthogrid structure, large thin-walled parts, program correction, postprocessor.

Введение

Основной несущей деталью изделий ракетно-космической техники (РКТ) являются оболочки с вафельным фоном [1, 2], которые представляют собой тонкостенные обечайки цилиндрической, конической или сферической формы с сеткой подкрепляющих ребер. Применение вафельной конструкции обечайки позволяет достичь максимальных прочностных характеристик при минимальной массе изделия, при этом необходимо обеспечить высокую точность обработки остаточного полотна и ребер карманов изделия [3–5]. Для достижения высокой точности обработки заготовок, обладающих малой жесткостью и большими габаритными размерами, используют специализированные станки типа «СВО» (системы высокоточной обработки) [6–8], которые обеспечивают компенсацию погрешностей установки и формы заготовки, увеличивают виброустойчивость системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД) за счет использования следящей опоры.

На рис. 1 представлена схема зеркального фрезерования [4] современной технологии ме-

ханической обработки тонкостенных оболочек на станках типа «СВО».

На таких станках в процессе обработки-движения режущего инструмента по траектории от системы ЧПУ осуществляется «подпор» задней стенки кармана заготовки упором, выполняющим синхронное (повторяющееся по отношению к перемещениям шпинделя) движение. Также в процессе обработки датчик линейных перемещений отслеживает перемещение штока пневмоцилиндра упора при его смещении от начального положения, которое соответствует номинальной координате задней стенки заготовки. Сигнал с датчика слежения за контуром передается в приводной модуль координаты V, работающий в режиме «виртуальной» оси без подключенного двигателя, а от него транслируется далее в модуль ЧПУ по высокоскоростной цифровой шине. Привод осевого перемещения по оси W работает в режиме Master-Slave в связке с виртуальной осью V копирующей головки; осуществляет корректирующее осевое пере-

мещение, воспринимая сигнал отклонения «е» фактической координаты задней стенки от заданной в управляющей программе (УП) в качестве уставки «w». Использование данной технологии и оборудования позволяет компенсировать погрешности установки и формы заготовки, однако воздействие ряда факторов в процессе обработки приводит к отклонениям по толщине остаточного полотна и ширине продольных и кольцевых рёбер, что приводит к необходимости применения энергозатратных и трудоёмких электрофизических методов обработки для уменьшения дополнительных масс изделия [1]. **Поэтому задача повышения точности и стабильности размеров остаточного полотна и рёбер методом фрезерования является актуальной.**

В [5] приведена характеристика и классификация основных факторов, влияющих на толщину остаточного полотна при фрезеровании вафельного фона. По характеру влияния эти факторы разделены на две группы:

I группа – факторы, влияющие на толщину в пределах одного кармана: динамические ошибки воспроизведения траектории, ошибки копирования задней стенки, деформация СПИД от сил резания;

II группа – факторы, влияющие на толщину по ряду и всему изделию: возмущения вафельного фона, первичные отклонения станка, отклонения оси шпинделя от нормали к поверхности, износ режущего инструмента, тепловые деформации СПИД, перераспределение внутренних напряжений после снятия детали.

Следует отметить, что, как правило, случайную составляющую уменьшают конструкторско-технологическими методами, а функциональную (систематическую) – цифровой коррекцией.

Коррекция ошибки из-за отклонения оси шпинделя от нормали к обрабатываемой поверхности

Схема образования ошибки по толщине остаточного полотна из-за отклонения оси шпинделя от нормали к поверхности приведена на рис. 2, из которой следует, что коррекция положения фрезы осуществляется в точке А0 на центральной оси инструмента в зависимости от величины сигнала V с датчика слежения за контуром заготовки, расположенном соосно с фрезой.

В [9] представлены различные методы коррекции, используемые в процессе управления станком с ЧПУ:

1) методы коррекции на основе априорной информации (коррекция по результатам калибровки станка, предсказание УП);

2) методы коррекции, основанные на принципе обратной связи;

3) методы коррекции, основанные на принципе компенсации возмущений.

Методы коррекции на основе априорной информации по результатам калибровки станка хорошо изучены и получили широкое применение в современных системах ЧПУ для уменьшения ошибок из-за первичных отклонений механизмов несущей системы станка, компенсации люфта, температурных деформаций станка. Однако влияние данных факторов на толщину остаточного полотна при зеркальном фрезеровании (копировании задней стенки кармана) на станках типа «СВО» не столь значительно. Среди факторов, сильно влияющих на толщину остаточного полотна при чистовом фрезеровании на станках типа «СВО», следует выделить:

1) отклонение оси шпинделя от нормали к обрабатываемой поверхности;

2) погрешности копирования задней стенки кармана при наличии подвижного упора.

Зная характер влияния данных факторов на ошибку по толщине остаточного полотна, можно разработать методы коррекции, основанные на компенсации возмущений. Влияние остальных факторов может быть устранено путем применения методов коррекции, основанных на принципе обратной связи.

В настоящей работе рассмотрены методы коррекции по возмущению.

При этом зубья фрезы снимают слой материала в точках А1 или А2; толщина снимаемого слоя зависит от угла наклона $\angle \alpha$ линии поверхности задней стенки заготовки к торцу инструмента. Следствием является возникновение ошибки $E = f(R_{фр}, tg\alpha)$ по толщине остаточного полотна, величина которой зависит от радиуса фрезы и тангенса угла наклона инструмента $\angle \alpha$ [5].



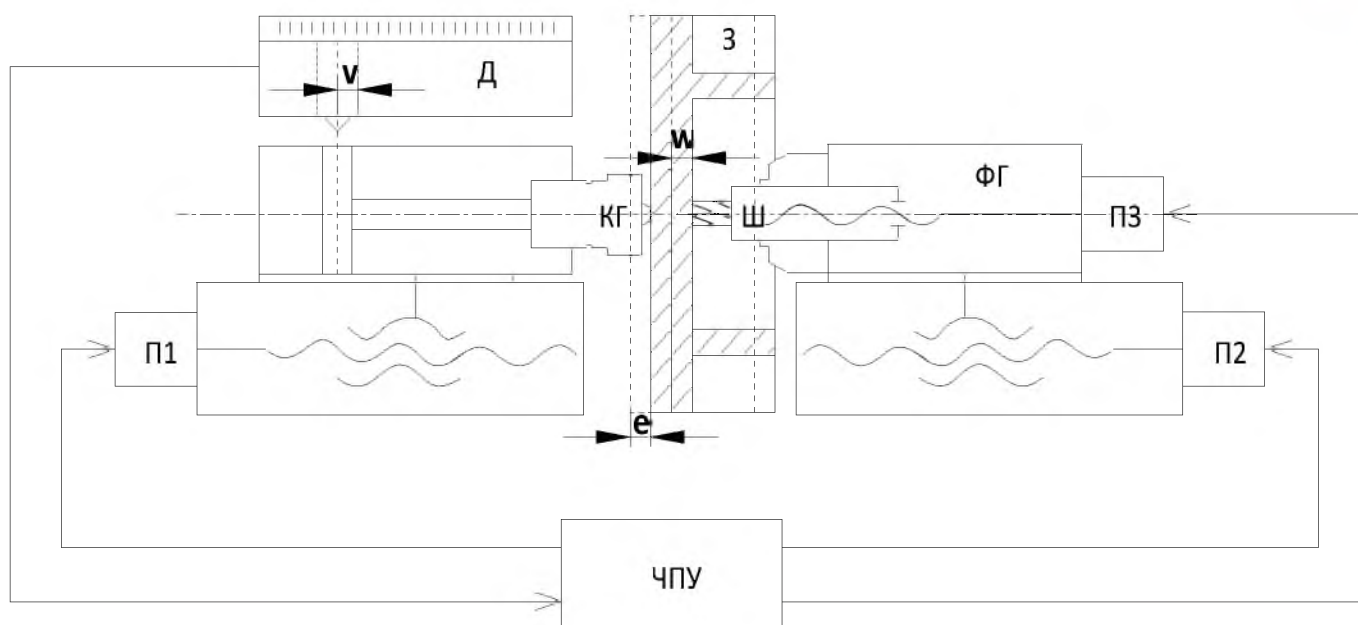


Рис. 1. Схема станка с ЧПУ для осуществления зеркального фрезерования:

- КГ – копировальная головка; ФГ – фрезерная головка;
 П1 – привод перемещения копировальной головки по координате Y;
 Д – датчик обратной связи пневмоцилиндра копировальной головки;
 П2 – привод перемещения фрезерной головки по координате Y;
 П3 – привод осевого перемещения фрезерной головки; Ш – шпиндель фрезерной головки;
 ЧПУ – система числового программного управления; З – заготовка

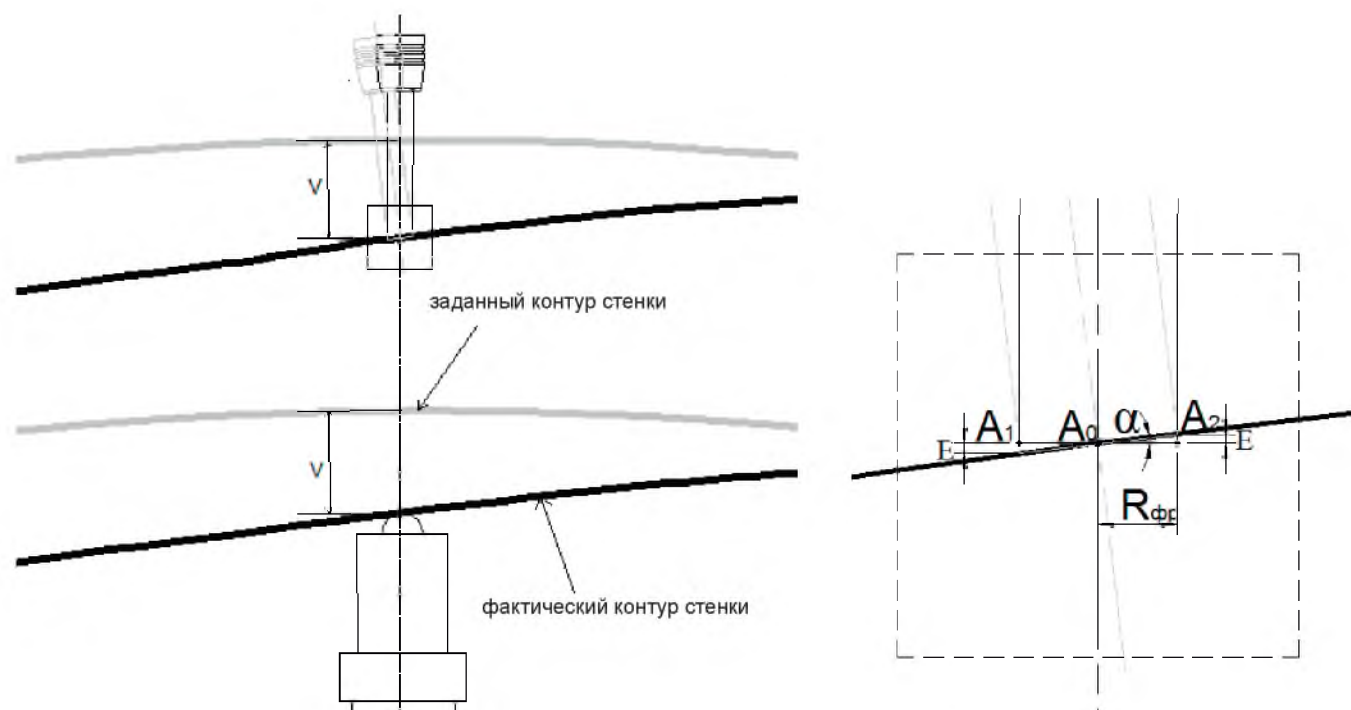


Рис. 2. Схема образования ошибки по толщине остаточного полотна из-за отклонения оси шпинделя от нормали к поверхности

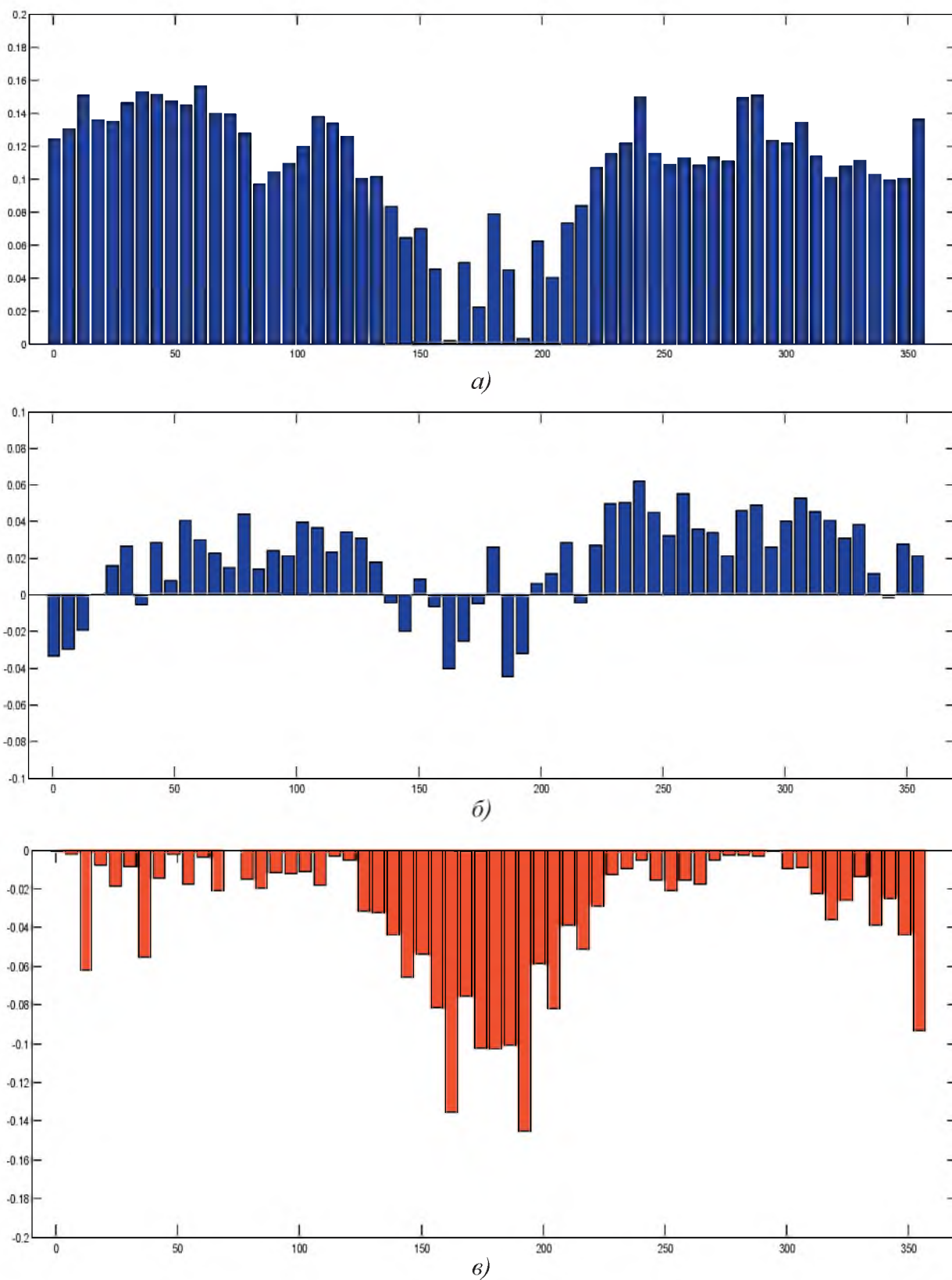


Рис. 3 – Коррекция по возмущению из-за отклонения оси шпинделя от нормали к поверхности:
 а) результаты измерения толщины остаточного полотна ультразвуковым датчиком после обработки без коррекции;
 б) результаты измерения толщины остаточного полотна ультразвуковым датчиком после обработки с коррекцией;
 в) расчётные отклонения

Алгоритм расчета коррекции по возмущению из-за отклонения оси шпинделя от нормали к поверхности состоит из следующих этапов:

1) измерение «кривизны» заготовки датчиком оси V – получение массива значений [B_v, Z_v, V];

2) разбиение множества точек измерения «кривизны» заготовки [B_v, Z_v, V] на участки равной длины, например, взяв количество точек n = 100;

3) расчёт аппроксимирующей прямой V = k*B + t для множества точек каждого j-ого участка по среднеквадратичному критерию;

4) расчёт корректора для каждой ячейки по следующей формуле:

$$K_{dist}^j = E_j = \left| \frac{R_{fp} * 360}{\pi D} \cdot \operatorname{tg} \alpha_j \right| \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{B_{i+1} - B_{i-1}} \quad (2)$$

где E_j – величина ошибки на данном участке; V_i – показания датчика слежения за контуром в i-ой точке; B_i – показания датчика поворота стола в i-ой точке; R_{fp} – радиус фрезы; D – диаметр заготовки; tg α_j – тангенс угла наклона j-ой аппроксимирующей прямой.

Рассмотрим, каким образом можно корректировать ошибки из-за погрешности копирования задней стенки кармана

В [5] подробно описан механизм возникновения ошибок по толщине остаточного полотна из-за погрешности копирования задней стенки заготовки, и приведена модель Simulink, которая позволяет исследовать данный механизм. Рис. 4а иллюстрирует погрешность копирования задней стенки заготовки.

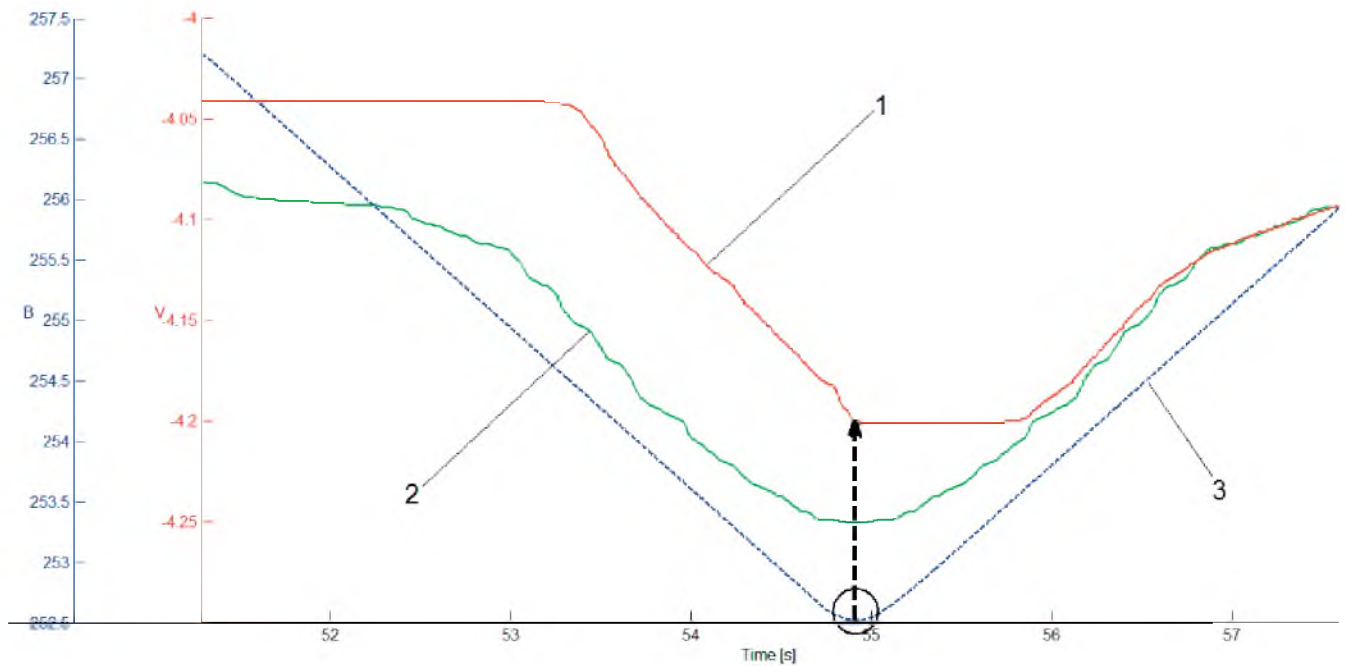
На рис. 4а обозначены: 1 – сигнал V с датчика слежения за контуром, записанный при вращении поворотного стола с заготовкой по координате B в прямом и обратном направлении, 2 – сигнал, полученный «зеркальным отражением вокруг вертикальной оси» сигнала V, записанного при предварительном измерении задней стенки ячейки без выполнения реверса, то есть «идеальный» сигнал с датчика копирования, 3 – сигнал энкодера поворотного стола оси B. Как следует из рис. 4а, «идеальный» сигнал V – кривая 2 и сигнал V – кривая 1 существенно различаются, наблюдается характерная «полочка» именно в момент реверса. Ошибка по толщине остаточного полотна в данном случае будет равна разнице между «идеаль-

Проведена обработка пояса карманов с коррекцией для каждой ячейки по результатам расчёта среднего корректора для каждой ячейки на основе данных измерений «кривизны» до обработки заготовки. Результаты измерения толщины остаточного полотна ультразвуковым датчиком после обработки без коррекции приведены на рис. 3а (при этом обработка велась с подачей F=3000 мм/мин, S=10000 об/мин, величина срезаемого слоя = 0,8 мм, заданная величина остаточного полотна=4,7 мм). На рис. 3б приведены результаты измерения толщины остаточного полотна после обработки с коррекцией (при этом обработка велась с подачей F=3000 мм/мин, S=10000 об/мин, величина срезаемого слоя равна 0,8 мм, заданная величина остаточного полотна=3,9 мм). Шаг усреднения ΔB=6,0°. На рис. 3в приведены расчётные отклонения с шагом усреднения ΔB=6,0°, на основе этих данных производилась коррекция управляющей программы.

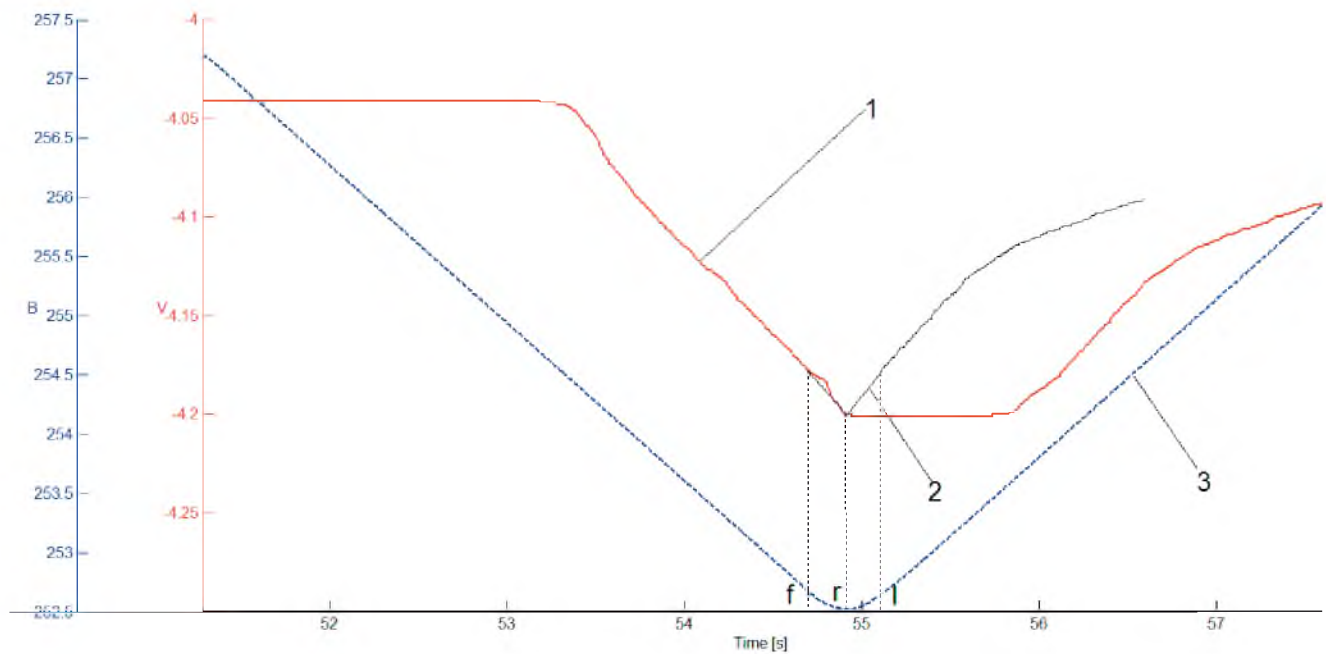
Из приведённых графиков можно увидеть, что обработка с коррекцией ошибки из-за отклонения оси шпинделя от нормали позволяет достичь меньшего разброса по величинам ошибок по толщине остаточного полотна.

ным» сигналом V и записанным фактическим сигналом датчика копирования.

Для коррекции данного сигнала и вычисления неискажённой «идеальной» формы сигнала по V может быть использован алгоритм, суть которого изложена на рис.4б, где 1 – нескорректированный сигнал V с датчика слежения за контуром, записанный при вращении поворотного стола с заготовкой по координате B в прямом и обратном направлении; 2 – скорректированный сигнал V, который вычисляется на базе записанного на холостом ходу нескорректированного сигнала с датчика слежения за контуром; 3 – сигнал энкодера поворотного стола оси B. В данном случае система слежения привода оси W работает по скорректированному сигналу на участке реверса f...1. Скорректированный сигнал вычисляется путём экстраполяции сигнала V с датчика слежения за контуром вне зоны реверса, в свою очередь, после прохождения участка реверса привод оси W переключается на обработку уже фактического нескорректированного сигнала V.



a)



б)

Рис. 4. Коррекция по возмущению из-за погрешности копирования задней стенки кармана:
а) погрешность копирования задней стенки заготовки; б) коррекция погрешности копирования задней стенки заготовки



Таким образом, алгоритм вычисления скорректированного сигнала $V_{calc}(t)$, компенсирующего искажение формы сигнала с датчика слежения за контуром при реверсе, выглядит следующим образом:

- 1) измерение «кривизны» заготовки датчиком оси V , получение массива значений $[B_v, Z_v, V]$;
- 2) разбиение множества точек измерения «кривизны» заготовки $[B_v, Z_v, V]$ на участки равной длины (можно взять $n=100$ количество точек);
- 3) расчёт коэффициентов угла наклона k аппроксимирующей прямой для множества точек каждого j -ого участка по среднеквадратичному критерию;
- 4) определение интервалов реверса $f...l$;
- 5) расчёт корректоров значений сигнала $V(t)$ в интервалах реверса:

$$K_{dist}^j = \begin{cases} V_{act} \notin [V^f .. V^l] \\ V_{corr} \in [V^f .. V^l] \end{cases}, \quad (1)$$

здесь V_{corr} – текущее скорректированное значение сигнала с датчика слежения за контуром, поступающее на вход привода координаты W , V_{act} – измеренное значение сигнала с датчика слежения за контуром без коррекции по возмущению, V^f – первая точка $V(t)$ внутри интервала реверса $f...l$, V^l – последняя точка $V(t)$ внутри интервала реверса $f...l$.

Как сказано выше, коррекция сигнала с датчика слежения за контуром происходит только на участке реверса и рассчитывается путем линейной экстраполяции сигналов аппроксимирующих прямых:

$$V_{corr}^{f+i} = \begin{cases} V_{act}^f + (B^{f+i} - B^f) * k_j, f \leq i \leq r \\ V_{corr}^r + (B^{f+i} - B^r) * k_{j+1}, r < i \leq l \end{cases}, \quad (2)$$

здесь f – индекс первой точки в интервале реверса $f...l$; l – индекс последней точки в интервале реверса $f...l$; r – индекс точки реверса; V_{corr}^r – расчётное

значение скорректированного сигнала с датчика слежения за контуром в точке реверса; k_j, k_{j+1} – коэффициенты угла наклона аппроксимирующей прямой, рассчитанной по методу наименьших квадратов, как и в случае с коррекцией отклонения шпинделя от нормали;

б) вставка кода коррекции сигнала $V(t)$ в те участки управляющей программы, которые соответствуют интервалам реверса.

Для проверки данного алгоритма коррекции по возмущению разработан программный модуль вычисления и корректирования сигнала $V(t)$ на базе системы ЧПУ Sinumerik 840D sl. Проведён эксперимент с пробной обработкой ячейки C22P0 без коррекции по возмущению и с коррекцией сигнала с датчика слежения за контуром $V(t)$ в соответствии с алгоритмом, изложенным выше. Результаты представлены на рис. 5.

На рис. 5 – красная линия – сигнал ошибки по толщине остаточного полотна при чистовой обработке ячейки C22P0 с шириной фрезерования $b=1$ мм, подачей $F=1500$ мм/мин; толщина остаточного полотна = 18 мм; обработка без коррекции; зелёная кривая – сигнал ошибки по толщине остаточного полотна при обработке ячейки C22P0 с коррекцией сигнала с датчика слежения за контуром; синяя линия – сигнал с датчика слежения за контуром при обработке без коррекции; фиолетовая линия – скорректированный квазиидеальный сигнал с датчика слежения за контуром при обработке с коррекцией; штриховая голубая линия – сигнал с датчика угла поворота $B(t)$ при обработке без коррекции; оранжевая штриховая линия – сигнал с датчика угла поворота $B(t)$ при обработке с коррекцией; жёлтая штриховая линия – сигнал с датчика $Z(t)$ при обработке без коррекции; зелёная штриховая линия – сигнал с датчика $Z(t)$ при обработке с коррекцией.

Выводы

1. В результате проведённых исследований точности полустогового и чистого фрезерования обечайки по существующей технологии механообработки вафельного фона на специальных фрезерных станках с ЧПУ типа «СВО» удалось выделить два фактора:

а) отклонение оси шпинделя от нормали к обрабатываемой поверхности;

б) погрешности копирования задней стенки кармана при наличии подвижного упора, которые приводят к существенным отклонениям по толщине остаточного полотна и которые до настоящего времени мало изучены.

2. Рассмотрен механизм образования ошибки по толщине остаточного полотна из-за отклонения оси шпинделя от нормали к поверхности,

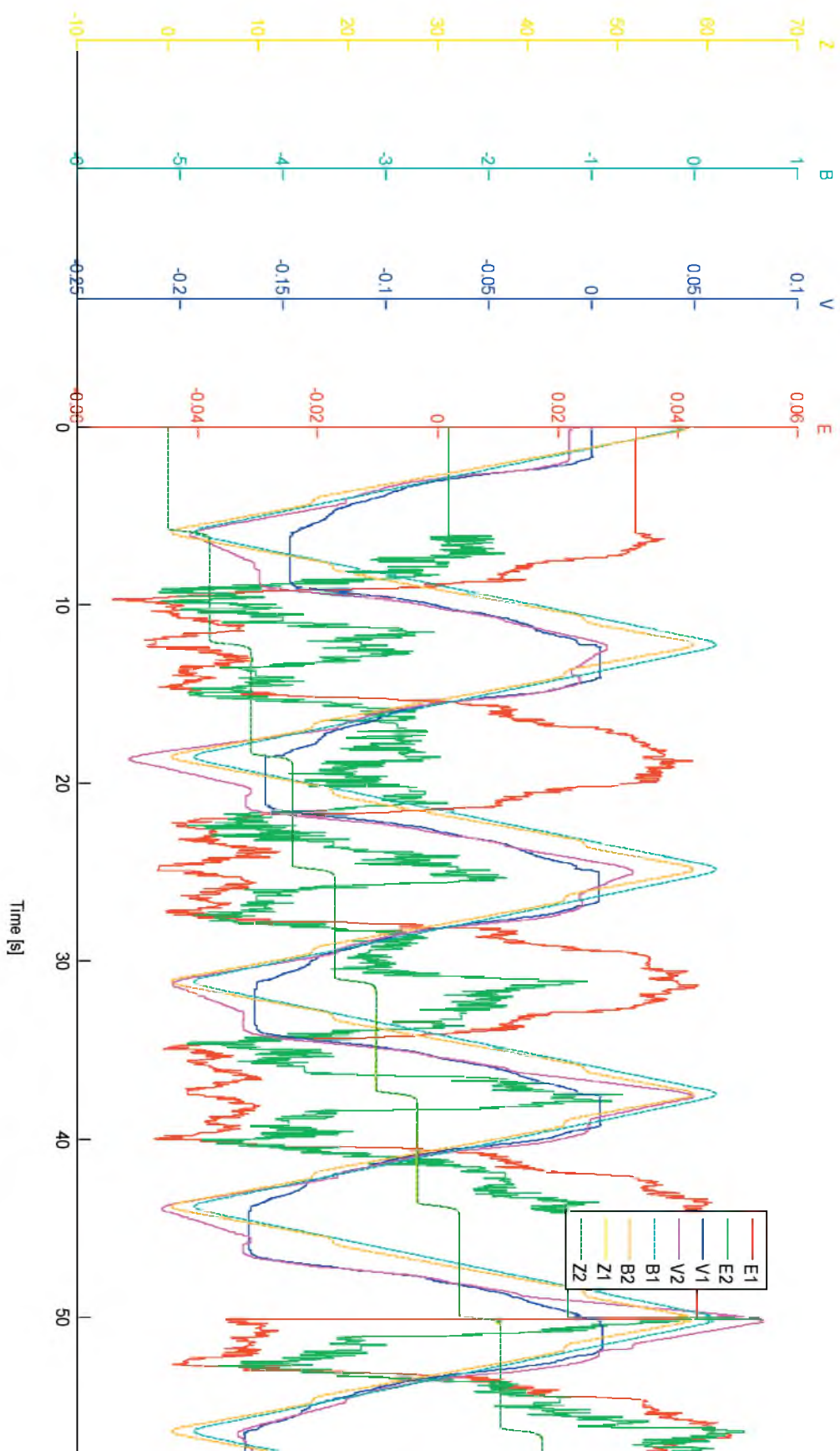


Рис. 5. Результаты пробной обработки ячейки C22P0 без коррекции по возмущению и с коррекцией



приведён алгоритм коррекции по данному возмущению и представлены результаты экспериментальных исследований.

3. Рассмотрен механизм образования ошибки по толщине остаточного полотна из-за погрешности копирования задней стенки кармана, приведен алгоритм коррекции по этому возмущению и представлены результаты экспериментальных исследований.

4. Проведённые эксперименты по обработке с коррекцией по указанным двум возмущениям показали заметное повышение точности по толщине остаточного полотна. Следует отметить, что необходимо продолжить дальнейшие исследования в целях повышения эффективности коррекции по возмущению путём использования информации о сигнале с датчика копирования, получаемой при самонастройке от прохода к проходу.

Библиографический список

1. Батрутдинов Р.Г., Сысоев С.К. Технология изготовления вафельного фона в обечайках летательных аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – №7. – С. 7–8.
2. ГОСТ 22350-91 Корпус ракеты на жидком топливе. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 17 с.
3. Зайцев А.М., Шачнев С.Ю. Определение технологичности обечайки с вафельной конструкцией // РИТМ машиностроение. – 2018. – №4. – С. 42–43.
4. Pas O., Serkov N. Developing an algorithm to control the accuracy of the milling of aerospace parts with cellular structure by using copying machine-tools with CNC of SVO type // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. – № 489. – С. 351–355.
5. Пась О.В., Серков Н.А. Исследование возможностей повышения точности механической обработки вафельного фона методами программной коррекции // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2022. – Т. 23. – №2. – С. 321–336.
6. Патент № 2 397 049 С1 МПК В23С3/00 (2006.01) Металлообрабатывающий станок / Котов А.Н., Чуйкин С.А., Милехин Е.С., Макаров Ю.Н., Коротков А.Н., Володина С.А. Заявка № 2009102851/02; опубл. 20.02.2010.
7. Патент № 2 465 104 МПК В23С3/04 (2006.01) Станок горизонтальный фрезерный многошпиндельный / Тюлевин С.В., Котов А.Н., Коротков А.Н., Ковалев А. М. Заявка № 2011143070/02; опубл. 27.10.2012.
8. АО НПО Техномаш им. С.А. Афанасьева. Станок специальный фрезерный с ЧПУ модели СВО 25. <http://www.tmnpo.ru/node/296> (дата обращения: 28.06.2023).
9. Серков Н.А. Точность многокоординатных машин с ЧПУ: теоретические и экспериментальные основы. – М.: URSS ЛЕНАНД, 2015. – 304 с.

Пась Олег Викторович – начальник управления АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»
Тел.: +7 (495) 689-96-66, доб. 97-21. \

E-mail: o.pas@tmnpo.ru

Pas Oleg Viktorovich – Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7 (495) 689-96-66, ext. 97-21.

E-mail: o.pas@tmnpo.ru

Серков Николай Алексеевич – д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук
Тел.: +7 (499) 135-30-68.

E-mail: serkov1943@mail.ru

Serkov Nikolai Alekseevich – PhD in Engineering Sciences, Leading Researcher at the Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences.

Tel.: +7 (499) 135-30-68.

E-mail: serkov1943@mail.ru



УДК 629.7:658.511.54

*Должанский Ю.М., Кочергин С.А., Маслов М.В., Матвеев Е.В., Орин С.В., Трофимова А.И.
Dolzhanskii Yu.M., Kochergin S.A., Maslov M.V., Matveev E.V., Orin S.V., Trofimova A.I.*

Технологии и специальное оборудование, паспортизированные АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в 2022 году

Technologies and special equipment certified by JSC «Afanasev «NPO «Technomac» in 2022

Представлены основные результаты паспортизации в 2022 году отраслевых технологий и специального технологического оборудования для базы данных и знаний АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Приведены основные сведения и технические характеристики двух разработок: «Автоматизированный стенд МЦМ15000 для контроля массы и координат центра масс изделий РКТ массой 1500–15000 кг» и «Головки нового поколения для орбитальной сварки в монтажных условиях тоннельных расходных магистралей из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей».

The main results of certification in 2022 of sectoral technologies and special technological equipment for the database and knowledge base of JSC «Afanasev «NPO «Technomac» are presented. The basic information and engineering characteristics of two developments are given: «Automated stand MCM15000 for control of mass and coordinates of the mass centre of aerospace products 1500-15000 kg» and «New generation heads for orbital welding in installation conditions of tunnel flow lines made of aluminium alloys and stainless steels».

Ключевые слова: информационный паспорт, база данных, база знаний, ускоренные испытания гироскопов, гидроформовка и сварка сильфонов, сварочные головки для орбитальной сварки труб, контроль массы и координат центра масс изделий РКТ массой до 15000 кг.

Keywords: information certificate, data base, knowledge base, accelerated testing of gyro devices, hydroforming and welding of bellows, welding heads for orbital tube welding, control of mass and coordinates of mass centre of aerospace products with mass up to 15000 kg.

В 2022 году фонд отраслевых технологий и специального технологического оборудования АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева», на которые оформлены Информационные паспорта, пополнился еще десятью позициями (табл. 1), по две из которых представлены АО КБХА (Воронеж) и УН ИКЦ СЭКТ (Санкт-Петербург), соответственно.

Таблица 1. Перечень Информационных паспортов, оформленных в 2022 году

<i>наименование технологии (оборудования)</i>	<i>№№ паспорта</i>
АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»	
1. Станок специальный фрезерный с ЧПУ для высокопроизводительной обработки «вафельного фона» на внутренних и наружных поверхностях тонкостенных цилиндрических деталей из алюминиевых сплавов (модель СВО 25)	П45/09 (доп. 1/22)
2. Опытная технология и специальные средства технологического оснащения для лазерной сварки сильфонов с концевой арматурой	П269/22



<i>наименование технологии (оборудования)</i>	<i>№№ паспортов</i>
3. Стенд «СУРИ-40» для ускоренных ресурсных испытаний силовых гироскопов и двигателей-маховиков массой до 5 кг и кинетическим моментом до 20 Н м с	П270/22
4. Опытная технология и специальные средства технологического оснащения для гидроформовки сильфонов	П271/22
5. Автоматизированный стенд МЦМ15000 для контроля массы и координат центра масс изделий РКТ массой 1500–15000 кг	П272/22
6. Головки нового поколения для орбитальной сварки в монтажных условиях тоннельных расходных магистралей из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей	П274/22
АО КБХА (Воронеж)	
7. Опытная технология локальной групповой обработки каналов охлаждения камер сгорания и сопел ЖРД многослойным шаблоном с дополнительным анодом	П259/22
8. Конструкция и опытная технология изготовления многослойных металлических фильтров для гидравлических систем ЖРД многократных включений	П268/22
УН ИКЦ СЭКТ (Санкт.-Петербург)	
9. Технологическая оснастка для фрезерования вафельного фона на внутренних поверхностях цилиндрических ДСЕ изделий	П273/22
10. Фрезерная головка для формирования ячеек внутреннего вафельного фона в зоне кольцевых сварных швов цилиндрических обечаек	П275/22

Ниже приведены основные технические данные паспортов П272/22¹ и П274/22².

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 272/22

**Автоматизированный стенд МЦМ15000
для контроля массы и координат центра масс изделий РКТ массой 1500–15000 кг**

Стенд (рис. 1) предназначен для автоматического определения массы и координат центра масс изделий ракетно-космической техники (РКТ) массой до 15000 кг.

Использование стенда МЦМ15000 позволяет:

– обеспечить повышенные требования по точности статической балансировки и определения массы изделий РКТ нового поколения;

– сократить в два-три раза технологический цикл балансировки.

Стенд является основным функциональным элементом специальной строительной конструкции (рис. 2), предназначенной для установки контролируемого изделия на рабочий стол МЦМ15000. В составе этой конструкции предусмотрена подвижная площадка (ярус) обслуживания.

1. Е.В. Матвеев, А.И. Трофимова

2. М.В. Маслов, С.В. Орин

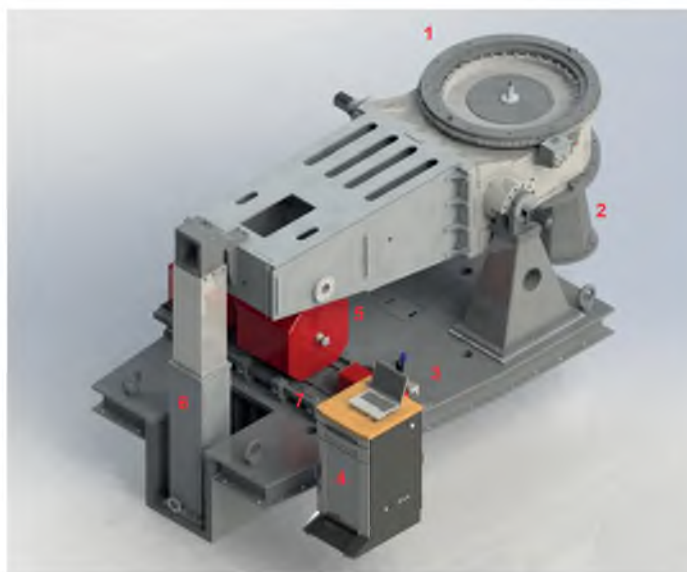


Рис. 1. 3D-компоновка стенда МЦМ15000: 1 – стол установки балансируемого изделия; 2 – опора; 3 – плита-основание; 4 – стойка оператора с электрооборудованием; 5 – противовес; 6 – колонна; 7 – каретка



Рис. 2. Общий вид рабочего места проведения работ: 1 – стенд МЦМ15000; 2 – колонна с подвижной площадкой (ярусом) обслуживания

Уровень готовности технологии (по ГОСТ Р 57194.1-2016) – УГТ-4.

Наличие аналогов:

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

Основные технические характеристики стенда приведены в табл. 2:

Таблица 2. Технические характеристики

Характеристики	Значения
– диапазон масс контролируемых изделий, кг	1500-15000
– погрешность определения массы, % от массы изделия	± 0,1
– диапазон определяемых координат испытываемых изделий, мм вертикальных (X) горизонтальных (Y и Z)	1200-10000 ± 0,250
– погрешности определения координат центра масс изделий, мм вертикальных (X) горизонтальных (Y и Z)	± 5 ± 1,5
– максимальный угол наклона рабочей платформы, град.	20
– электрическое сопротивление от фланца переходника до заземляющего контура, Ом, не более	0,1
– питание стенда, ВxГц	220x50
– потребляемая мощность, кВт	2
– питание площадки обслуживания, ВxГц	380*3x50
– потребляемая мощность площадки обслуживания, кВт	8
– габаритные размеры стенда, мм	4570x2450x2210
– масса стенда (с опорной плитой), кг, не более	8000
– минимальная площадь производственного участка, м ²	120

Документация разработки:

- комплект КД **ТМКБ.6.53.400.00.00.000;**
- формуляр **ТМКБ.6.53.400.00.00.000ФО;**
- руководство по эксплуатации **ТМКБ.6.53.400.00.00.000РЭ**

Соисполнителем работ является ЗАО «СтанкоПресс» (Россия) в части изготовления металлоконструкций, сборки и наладки стенда.

Отметим, что стенд МЦМ15000 является разработкой, завершающей на сегодня линейку стендов контроля массцентровочных характеристик и балансировки крупногабаритных дета-

лей и сборочных единиц (ДСЕ) и изделий РКТ. Кроме стенда МЦМ15000, в эту линейку входят (рис. 3, а), б)) стенды АМИК (2014 г., П158/14) и МЦМ6000 (2017 г., П207/17).

Сравнительные технические характеристики стендов линейки приведены в табл. 3.

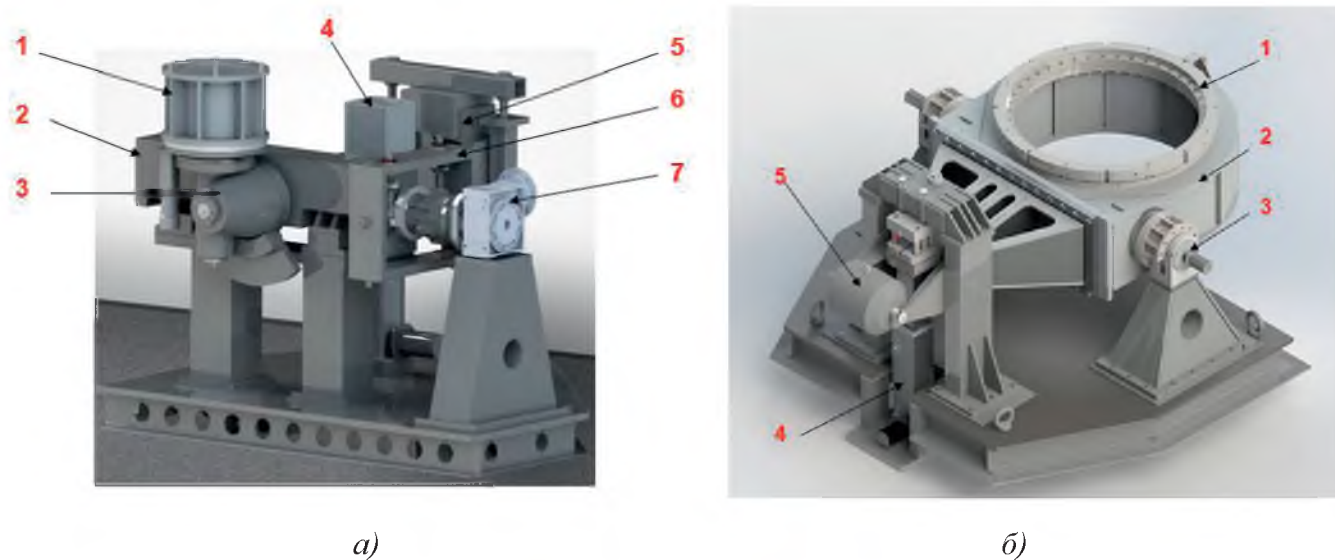


Рис. 3. Стенды АМИК (а) и МЦМ6000 (б)

- а) 1 – платформа для установки контролируемого изделия; 2 – наклонный стол для измерения координат центра масс;
3 – устройство наклонения изделия для определения параметров эллипсоида инерции; 4 – привод наклона стола;
5 – съёмный противовес для измерения массы; 6 – пружинный блок для измерения моментов инерции методом колебаний;
7 – устройство оперативного присоединения пружинного блока к наклонному столу
- б) 1 – платформа установки и закрепления изделия; 2 – рабочий поворотный стол станда;
3 – поворотное устройство с датчиками угла наклона стола;
4 – домкрат наклона рабочего стола эталонный груз для измерения массы

Таблица 3. Технические характеристики

Характеристики	Модель станда, значения характеристик		
	АМИК	МЦМ 6000	МЦМ 15000
– диапазон масс контролируемых изделий, кг	300 – 3000	600 - 6000	1500 - 15000
– погрешность измерения массы, кг	± 1,5	± 3,0	± 15,0
– координат центра масс, мм вертикальных горизонтальных	± 1,0 ± 0,4	± 1,5 ± 0,5	± 5 ± 1,5
– питание, ВхГц	220х50		
– потребляемая мощность, кВт, не более	1	2	8
– габариты станда, мм	2480 x 2150 x 1630	3170 x 2470 x 1760	4570 x 2450 x 2210
– масса станда (с опорной плитой), кг	3750	5850	8000
– площадь производственного участка, м ² , не менее	16-18		120

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 274/22

Головки нового поколения для орбитальной сварки в монтажных условиях тоннельных расходных магистралей из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей

Высокоэффективным методом получения качественных неразъемных соединений трубопроводов различного назначения в монтажных условиях является автоматическая орбитальная сварка. Орбитальные сварочные головки успешно применяются в ситуациях, когда в процессе сварки технически невозможен или нежелателен поворот самого свариваемого изделия (трубы). Применение орбитальной сварки обеспечивает высокие требования к качеству соответствующих сварных соединений, однако является достаточно сложной технической задачей, прежде всего, в части обеспечения условий стабильности формирования шва в различных пространственных положениях и теплового насыщения металла свариваемых трубопроводов.

В АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» разработки нестандартного технологического оснащения процессов автоматической орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов ведутся сравнительно давно (Информационные паспорта №№ П32 и П33 в 2009 г., Информационный паспорт №114 в 2013 г.). К настоящему време-

ни накоплен достаточно большой положительный опыт в проектировании соответствующих средств технологического оснащения.

Разработанный в 2022 году комплект нестандартных типовых сварочных головок для орбитальной сварки в монтажных условиях тоннельно-расходных магистралей из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей предназначен для орбитальной сварки трубопроводов из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей сравнительно больших диаметров и включает:

- сварочные головки для сварки (в вариантах с подачей и без подачи присадочной проволоки) трубопроводов из алюминиевых сплавов (а) и нержавеющей сталей (б) диаметром от 160 до 190 мм (рис. 4.);
- сварочную головку для сварки с подачей присадочной проволоки трубопроводов из алюминиевых сплавов диаметром от 350 до 462 мм (рис. 5).

Технические характеристики головок приведены в табл. 4.

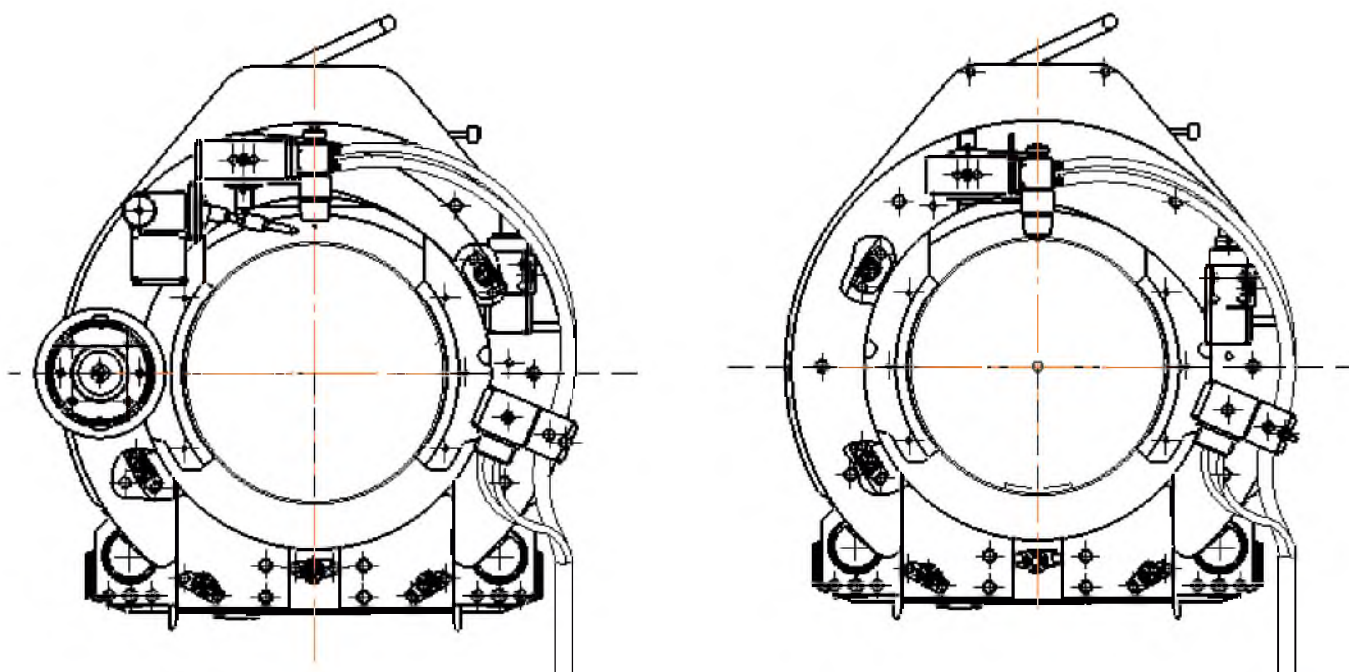


Рис. 4. Головки для сварки трубопроводов из алюминиевых сплавов (а) и нержавеющей сталей (б)

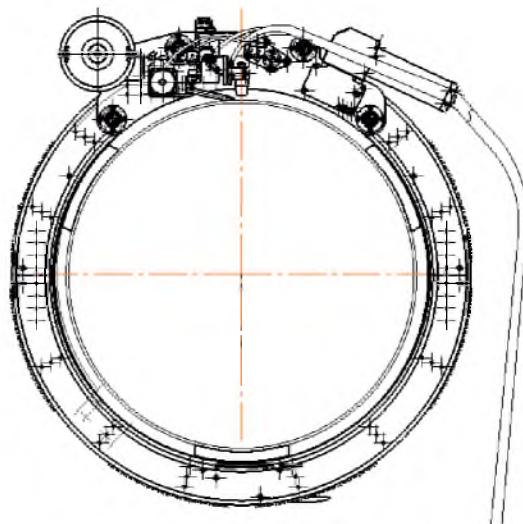


Рис. 5. Головка для сварки с подачей присадочной проволоки трубопроводов из алюминиевых сплавов диаметром от 350 до 462 мм

Таблица 4. Технические характеристики

Характеристики	Значения
Сварочные головки для сварки трубопроводов из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей диаметром от 160 до 190 мм	
<i>а) без подачи присадочной проволоки</i>	
– диаметр свариваемых труб, мм	160–190
– диаметр неплавящегося электрода, мм	3
– скорость сварки, м/ч	5–25
– номинальное напряжение сети питания, В	380
– величина сварочного тока, А	10–250
– защитная среда	аргон
<i>б) с подачей присадочной проволоки</i>	
– диаметр свариваемых труб, мм	160–190
– диаметр неплавящегося электрода, мм	3
– скорость сварки, м/ч	5–25
– скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	5-50
– номинальное напряжение сети питания, В	380
– величина сварочного тока, А	10-250
– защитная среда	<i>аргон</i>
Сварочные головки для сварки трубопроводов из алюминиевых сплавов диаметром от 350 до 462 мм (с подачей присадочной проволоки)	
– диаметр свариваемых труб, мм	350-462
– диаметр неплавящегося электрода, мм	3
– скорость сварки, м/ч	5-25
– скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	5-50
– номинальное напряжение сети питания, В	380
– величина сварочного тока, А	10-250
– защитная среда	аргон

Документация разработки:

- комплект КД **ТМКБ 3.24.370.00.00.000**
- Паспорт **ТМКБ3.24.370.00.00.000 ПС**
- Руководство по эксплуатации **ТМКБ 3.24.370.00.00.000 РЭ**
- Типовой технологический процесс **ТМКБ.55290.24037**

Должанский Юрий Михайлович – д-р техн. наук, главный научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-97-04, доб. 24-27.

E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnp.ru

Dolzhanskii Iurii Mikhailovich – Doktor Nauk in Engineering, Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

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

E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnp.ru

Кочергин Сергей Александрович – канд. техн. наук, директор центра АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-95-45

E-mail: S.Kochergin@tmnp.ru

Kochergin Sergei Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Center Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel.: 8 (495) 689-95-45

E-mail: S.Kochergin@tmnp.ru

Маслов Максим Викторович – инженер-технолог 2-й категории АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-97-00, доб. 22-93

E-mail: M.Maslov@tm.fsa

Maslov Maxim Viktorovich – Category 2 Process engineer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel.: 8 (495) 689-97-00, ext. 22-93

E-mail: M.Maslov@tm.fsa

Матвеев Евгений Владимирович – ведущий научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-95-30, доб. 22-79

E-mail: E.Matveev@tm.fsa

Matveev Eugeni Vladimirovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel.: 8 (495) 689-95-30, ext. 22-79

E-mail: E.Matveev@tm.fsa

Орин Сергей Владимирович – начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-10-46, доб. 22-60

E-mail: S.Orin@tm.fsa

Orin Sergei Vladimirovich – Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel.: 8 (495) 689-10-46, ext. 22-60

E-mail: S.Orin@tm.fsa

Трофимова Анастасия Игоревна – инженер-конструктор 1-й категории АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-96-03, доб. 22-95

E-mail: A.Trofimova@tm.fsa

Trofimova Anastasia Igorevna – 1st category design engineer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel.: 8 (495) 689-96-03, ext. 22-95

E-mail: A.Trofimova@tm.fsa

УДК 378.22

Калугин В.Т., Луценко А.Ю., Галиновский А.Л.
Kalugin V.T., Lutsenko A.Y., Galinovskii A.L.

Новые возможности магистратуры для инженерного образования

New Master's degree opportunities for engineering education

В статье рассмотрены тенденции развития инженерного образования с учетом Указа Президента Российской Федерации «О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования». Основное внимание уделяется вопросам трансформации магистратуры, срок обучения в которой может находиться в интервале от одного года до трех лет в зависимости от направления подготовки, специальности и (или) профиля подготовки. Рассмотрен опыт факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана в подготовке магистров.

The article considers the trends of engineering education development taking into account the Decree of the President of the Russian Federation «On Some Issues of Higher Education System Improvement». The main attention is paid to the transformation of the Master's programme, the term of study in which can be in the interval from one to three years depending on the educational field, speciality and (or) education specialization. The experience of «Special Machine Building» faculty of Bauman Moscow State Technical University in Masters' education is considered.

Ключевые слова: подготовка инженерных кадров, магистратура, передовая инженерная школа, проектная деятельность, качество образования.

Keywords: engineering education, master's degree, advanced engineering school, project activities, quality of education.

Введение

Кажется, что совсем недавно в профессиональной научно-образовательной среде шли активные дискуссии, посвящённые вопросу вхождения России в Болонский процесс. Вместе с тем, прошло уже почти два десятилетия, как наша страна смонтировала новую структуру высшего образования и поставила ее на рельсы Болонского процесса. Надо отметить, что дискуссии о целесообразности этих тектонических изменений не утихали все эти годы, а большинство вопросов всегда оставалось дискуссионными [1].

Вспомним, что Россия присоединилась к Болонскому процессу в сентябре 2003 года, а уже в 2007 году Президент Российской Федерации Владимир Путин подписал закон о введении в систему российского высшего образования многоуровневой подготовки, включающей бакалавриат и магистратуру. Представителям федеральных учебно-методических объединений (ФУМО) и ведущих технических вузов удалось отстоять специалитет, который сохранился по специальностям, связанным, в част-

ности, с ракетостроением, авиастроением, системами вооружений и другими критически важными для обороноспособности страны технологиями. Среди противников изменений были ректоры ведущих вузов. К примеру, ректор МГУ имени М.В. Ломоносова Виктор Садовничий заявлял, что переход на Болонскую систему будет способствовать снижению качества образования [2].

Причины критики состояли во многих аспектах, но прежде всего, было очевидно, что Болонский процесс ориентирован на страны Евросоюза с его задачами евроинтеграции и обеспечения мобильности кадров [3]. В этой связи Россия подвергалась опасности потерять как исторические черты высшего образования, так и существующие традиции подготовки кадров [4].

Если углубиться в суть вопроса, то здесь необходимо отметить, что переход от пятилетней к четырехлетней подготовке требовал сокращения часов, и этими часами чаще всего становились часы, отводимые на фундаментальную подготовку.



Бакалавр должен освоить специальность, которую он получает, а это требовало включение профильных дисциплин. Очевидно, что и фундаментальные, и профессиональные дисциплины бакалавр получал, но ограниченно и по времени, и по содержанию. Ряд дисциплин профессионального модуля вообще не входил в программу подготовки. Здесь уместно вспомнить термин, которым работодатели из числа наукоёмких машиностроительных предприятий нарекли бакалавров – «недоинженер», который в последующем закрепился в научно-образовательной и производственной среде. Предполагалось, что магистратура выровняет эту ситуацию и устраним те пробелы подготовки, которые имелись у бакалавра, и, казалось бы, тут есть резерв в наличии еще одного года обучения, что суммарно было бы выше траектории специалиста. Однако и в данном случае возникла проблема, состоящая в весьма ограниченных контрольных цифрах приёма, выделяемых на магистратуру. Далеко не каждый выпускник бакалавриата мог поступить в магистратуру и продолжить свое обучение. В особой ситуации оказались региональные вузы, где в ряде случаев вообще не было открытых магистерских программ. Существовали и другие проблемы с магистратурой. Так, в частности, пришлось столкнуться с серьезными вызовами, которыми являлась череда обстоятельств, связанных с комплектованием групп учащихся с разным уровнем подготовки, переходом на обучение с других специальностей и профилей обучения, переходом зачастую на вечернее обучение в связи с необходимостью совмещения учебы и работы [5, 6].

Важно отметить, что за прошедшее время осуществлен многократный выпуск обучающихся по многоуровневой системе образования, но какого-либо качественного сдвига в уровне и качестве подготовки кадров не произошло, а скорее, наоборот, рынок сегодня испытывает дефицит высококвалифицированных специалистов, а текущий уровень образования не устраивает значительное количество работодателей.

Стало понятно, что время диктует свои правила, и здесь одновременно сошлись воедино несколько обстоятельств, которые и создали основу для пересмотра стратегии подготовки кадров – это внешнеполитический азимут, необходимость повышения качества подготовки специалистов

и рост потребностей в них внутри страны, а также объективные задачи необходимости проведения работы над ошибками.

Таким образом, в январе 2021 года Президент России Владимир Путин заявил о необходимости большей гибкости высшей школы для лучшего соответствия меняющемуся рынку труда. В послании Федеральному собранию он сказал о необходимости «вернуться к традиционному для России сроку обучения в вузах от четырех до шести лет» [7]. В свою очередь помощник Президента Российской Федерации Андрей Фурсенко заявил: «Мы должны будем еще раз начать перестраивать существенно систему высшего образования, обеспечив большую дробность» [8]. 12 мая 2023 года В.В. Путиным подписан Указ «О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования». Текст Указа закрепляет положения о необходимости реализации в шести вузах в 2023/24 и 2025/26 учебных годах пилотного проекта, предусматривающего изменение уровней профессионального образования (высшее образование – базовое высшее образование и специализированное высшее образование (магистратура, ординатура, ассистентура); профессиональное образование – аспирантура). При этом срок освоения программ базового высшего образования может находиться в интервале от четырех до шести лет, программ магистратуры от одного года до трех лет в зависимости от направления подготовки, специальности и (или) профиля подготовки либо от конкретной квалификации, отрасли экономики или социальной сферы. Принципиально новым положением является возможность продолжения обучения в магистратуре на бюджетной основе для лиц, получивших высшее образование по программе специалитета.

Действительно рынок труда и его разные профессиональные сферы требуют и разных сроков обучения. Разнообразные по сложности профессии нуждаются в различном объеме необходимых компетенций, в этой связи установить единый формат обучения будет крайне сложно. Темп происходящих социально-экономических изменений также выдвигает свои требования, которые заключаются в готовности специалиста к профессиональной переориентации и возможной смене профессиональных траекторий [9, 10].

Новая система высшего образования

В чем же состоит гибкость новой системы? Рассмотрим на примере магистратуры, где срок обучения может варьироваться от одного года до трех лет. Так, если обучающийся идет в магистратуру после базового высшего образования и профили обучения совпадают, то он вправе освоить одногодичную магистерскую программу. Если же он переходит с другого профиля, содержание его подготовки должно быть наполнено как базовыми, так и профессиональными дисциплинами со сроком обучения два или три года. Другими словами, мы получаем множество форм магистратуры и ту гибкость, о которой говорил Президент России.

При этом, по словам министра высшего образования и науки Российской Федерации Валерия Фалькова, высказанным на заседании итоговой коллегии ведомства, магистратура сохранится не во всех учебных заведениях, а поступить в неё будет труднее [11]. По замыслу министра, будет осуществляться отбор научных и образовательных организаций, где есть возможности и условия реализации магистерских программ. Правила приёма в магистратуру будут ужесточены и усовершенствованы. Идея состоит в том, что обучение в магистратуре должно иметь серьезный фундамент в виде высококвалифицированного кадрового обеспечения, соответствующих организационных и материально-технических условий. Кроме того, по словам Валерия Фалькова, магистратуру предлагается разделить на академическую и профессиональную. Министр также отметил: «Академическая магистратура – это та, которая соответствует приоритетам научного развития, поэтому в полной мере должна финансироваться за счет бюджета. А вот профессиональная магистратура, имеющая своих прямых бенефициаров (допустим, работодателей из числа промышленных предприятий), может и должна иметь гибкие схемы финансирования, в том числе может финансироваться крупными корпорациями, отраслями или частными лицами» [12].

В ходе обсуждения Валерий Фальков подчеркнул, что в основе всех изменений должно быть качество образования: «Все профессиональные вопросы, результаты, сроки обучения, образовательные стандарты, распределение контрольных цифр приема – в основе всего должна быть про-

стая интегральная характеристика – качество образования. Мы предлагаем комплексный подход к принятию решений, поскольку у каждой стороны есть свои мотивы и интересы, здесь важно все сбалансировать» [13].

При этом нельзя забывать и о еще одной составляющей обеспечения качества образования, состоящей в принципе регулярного обновления учебных программ с учетом мнений выпускников и работодателей, а также стимулирования развития инноваций, которые сегодня являются локомотивом современной экономики и социальной жизни людей [14].

Для одногодичной магистратуры, реализуемой по инженерным специальностям, представляется целесообразным выстраивать содержание образования таким образом, чтобы сократить время на обучение в аспирантуре. Такая магистратура – это хороший опыт получения новых компетенций, прежде всего исследовательских и научно-творческих, необходимых для подготовки самостоятельного научного исследования в аспирантуре. Это время и возможность психолого-педагогической адаптации в диаде «научный руководитель – аспирант» с возможностью пересмотра дальнейшей траектории, например, в случае возникновения социально-психологических барьеров. По сути одногодичная магистратура – это возможность понять и ответить обучающемуся на вопрос о готовности к написанию кандидатской диссертации и становлению себя как учёного и преподавателя высшей школы.

Ответить на вопрос о востребованности этого этапа и его эффективности можно только после формирования основных образовательных программ, структуры подготовки и наполнения содержанием читаемых курсов. Очевидно, что прогнозы могут иметь какую-либо ценность только после формирования этих документов и проведения социально-педагогических опросов как преподавателей, работодателей, так и потенциальных обучающихся. А более полное понимание и оценка качества образования наступят только после выпуска первых магистров и получения отзывов от них и данных социально-кадровых мониторингов. Тем не менее, уже сейчас можно говорить, что мы отошли от стратегии «догоняющих модернизаций» и осуществили переход к созданию собственных конкурентных образовательных услуг [14–15].



Опыт факультета «Специальное машиностроение» в подготовке магистров

Появление проектов Приоритет–2030 и Передовая инженерная школа (ПИШ) также оказывает заметное влияние на организацию учебного процесса и формирование содержания образования, внедрение передовых форм подготовки.

Например, для ПИШ МГТУ им. Н.Э. Баумана приоритетом стала проектная деятельность и междисциплинарное взаимодействие. Кафедры различных факультетов, участники ПИШ предусматривают возможность перехода учащегося с одной программы на другую, пополнение его компетенций в тех направлениях, которые интересуют самого учащегося, то есть речь идет о построении индивидуальных образовательных траекторий. Кафедры заранее формируют базу для реализации таких идей, которая, в частности, состоит в наполнении подразделений Университета материально-техническим оснащением и программными комплексами, которые будут использоваться как в научном, так и в образовательном процессе. Это – приборы, оборудование, станки, расходные материалы, ПО – все, что нужно для научно-образовательной деятельности, проводимой на высоком профессиональном и качественном уровне.

Как пример, кафедра СМ-12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» разработала несколько направлений для проектной деятельности вновь поступивших магистров. Эта

деятельность, учитывая профиль кафедры, носит определённый практико-ориентированный характер. Прикладные задачи, которые должны решать студенты междисциплинарных групп, будут, в частности, состоять в разработке инновационной установки для ультразвуковой обработки и диагностики материалов. Причем создание установки подразумевает дополнительное деление на группы, отвечающие за вопросы изготовления элементов конструкции из композиционных материалов, вопросы штамповки шаровых баков, вопросы дизайна и защиты интеллектуальной собственности, продвижения изделий на рынке инновационной продукции и услуг. Такая разная направленность потребовала и соответствующего наполнения магистерской программы специальными дисциплинами, которые будут формировать фундамент для проектной деятельности. Несмотря на конкретную тематику проекта, это обстоятельство не будет сужать кругозор обучающегося, поскольку содержание дисциплин предполагает широкую трактовку материала и формирование компетенций по самостоятельному освоению новых знаний. Проектный подход в данном случае – это площадка для применения полученных знаний, получения опыта формирования и реализации научно-творческих и исследовательских компетенций на прочном фундаменте базовых и общепрофессиональных дисциплин.

Выводы

1. Новая система высшего образования наделена большей гибкостью и лучше соответствует меняющемуся рынку труда.
2. Опыт образовательных программ ПИШ может быть тиражирован в случае получения положительных результатов обучения.

3. Помимо структурных изменений необходимо акцентировать внимание на вопросах регулярного обновления учебных программ и стимулирования развития и внедрения инноваций.

Статья подготовлена в рамках программы ПИШ.

Библиографический список

1. Воронин Г.П. Болонская система образования: будущее страны в опасности? // Стандарты и качество. – 2021. – № 5. – С. 1.
2. РБК новости [Электронный ресурс]. [2022]. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6250b6239a7947735b2e9eea?ysclid=lmthkoxce7548928532> (дата обращения: 21.09.2023).
3. Калинина Е.В., Калинина А.С. Отдельные правовые аспекты реализации Болонского процесса в современном образовании: история, современность и перспективы // Современный учёный. – 2022. – № 3. – С. 333–338.

4. Рожкова К.В., Рошин С.Ю., Солнцев С.А., Травкин П.В. Отдача на магистерскую степень на российском рынке труда // Вопросы экономики. – 2021. – № 8. – С. 69–92.
5. Григорьевский Л.Б., Иващенко Г.А., Фрейберг С.А. Болонский процесс в России: история, противоречия и перспективы // Проблемы социально-экономического развития Сибири. – 2021. – № 1. – С. 97–103.
6. Гармонова А.В., Опфер Е.А., Щеглова Д.В. Роль магистратуры в системе подготовки академических кадров // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31, № 11. – С. 47–62.
7. РИА новости [Электронный ресурс]. [2023]. URL: <https://ria.ru/20230221/obuchenie-1853417983.html?ysclid=lmti24o92a831827209> (дата обращения: 21.09.2023).
8. Независимая газета [Электронный ресурс]. [2023]. URL: https://www.ng.ru/education/2021-08-18/8_8228_education2.html?ysclid=lmti5xwtci897318896 (дата обращения: 21.09.2023).
9. Вопросы и задачи развития магистратуры в инженерных вузах Галиновский А.Л., Хапаева С.С. Вестник Московского государственного областного университета. – Серия: Педагогика. – 2015. – № 2. – С. 108–115.
10. Абашин М.И., Баданина Ю.В., Винокурова Е.В., Галиновский А.Л., Сысоев Н.Н., Хапаева С.С. Перспективные модели инженерного образования. – М.: ИИУ МГОУ, 2017. – 168 с.
11. РИА новости [Электронный ресурс]. [2023]. URL: <https://ria.ru/20230519/magistratura-1872836840.html?ysclid=lmti9qn3zr255561134> (дата обращения: 21.09.2023).
12. Кириевская О.А., Листопадова Е.В., Туркулец С.Е. Магистратура в России в свете выхода из Болонского процесса: проблемы и перспективы // Право и практика. – 2023. – № 2. – 168–173.
13. Bok, D. Our Underachieving Colleges: A Candid Look at How Much Students Learn and Why They Should Be Learning More / D. Bok. – Princeton: Princeton University Press, 2006. – 440 p.
14. Богуславский М.В., Неборский Е.В. Концепция развития системы Высшего образования в России // Мир науки. – 2016. – Том 4. – номер 5.
15. Курбатова, М.В. Поведение работников вузов в условиях реформирования высшего профессионального образования: проблема выбора / М.В. Курбатова, Е.С. Каган, Н.Ф. Апарина // Социологические исследования. – 2015. – №2. – С. 122–133.

Калугин Владимир Тимофеевич – д-р техн. наук, профессор, декан факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тел.: 8(499)263-65-12. E-mail: Kaluginvt@bmstu.ru

Kalugin Vladimir Timofeevich – PhD in Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of «Special Machine Building», Bauman Moscow State Technical University.
Tel.: 8(499)263-65-12. E-mail: Kaluginvt@bmstu.ru

Луценко Александр Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, первый заместитель декана факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тел.: 8(499)263-65-12. E-mail: Lutsenko@bmstu.ru

Lutsenko Alexander Iurievich – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, First Deputy Dean of the Faculty of «Special Machine Building», Bauman Moscow State Technical University.

Тел.: 8(499)263-65-12. E-mail: Lutsenko@bmstu.ru

Галиновский Андрей Леонидович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой СМ-12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тел.: 8(499)263-10-66.

E-mail: a_galinovskiy@bmstu.ru

Galinovskii Andrei Leonidovich – PhD, Professor, Chair Head of SM-12 «Rocket and Space Engineering Technologies» Department of N.E. Bauman Moscow State Technical University.


Тел.: 8(499)263-10-66.

E-mail: a_galinovskiy@bmstu.ru



При любом использовании материалов (цитировании, перепечатке или копировании) ссылка на научно-технический журнал «Вестник «НПО «Техномаш» обязательна.

Подписано в печать 01.09.2023. Выход в свет 04.09.2023. Формат А4.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура TimesNewRoman
Усл. п. л. 4.397 Тираж 100 экз. Заказ № 28789.
Возрастная категория 12+

 127018, г.Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д.40, а/я 131
телефон: 8 (495) 689-50-66
факс: 8 (495) 689-73-45
<http://tmnpo.ru/>

