Уважаемые коллеги!

В 2020 году предприятия ракетно-космической промышленности и других системообразующих отраслей столкнулись с вызовами, связанными с эпидемией новой коронавирусной инфекции (COVID-19), в частности, с необходимостью перевода части работников в режим удаленной работы, проблемой защиты рабочего пространства от инфекции, разрывом кооперационных цепочек, затрудненностью контактов с иностранными партнерами.

COVID-19 стал не просто угрозой жизни и здоровью, но и своеобразным индикатором того, насколько оперативно мы готовы перестроиться под новый спектр задач, принимать быстрые и качественные решения, решать проблемы не только здесь и сейчас, но и создавать задел на будущее.

Несложно предположить, что приоритеты промышленного развития начнут смещаться в область цифровых производственных технологий, роботизированных систем, новых способов конструирования, создания систем обработки больших объёмов данных и использования искусственного интеллекта.



Перед вами очередной номер научно-технического журнала «Вестник «НПО «Техномаш», на страницах которого авторы постарались дать ответы на вопросы, представляющие актуальность для отечественной ракетно-космической отрасли, в том числе как в новых условиях решать задачи реализации перспективных международных проектов, внедрения инновационных технологических решений, оценки и выбора альтернатив фундаментальных исследований. Основной темой Вестника «НПО «Техномаш» традиционно являются вопросы контроля качества и надежности производства изделий ракетно-космической техники.

Надеемся, что интерес читателей вызовет обзор материалов, приуроченных к 55-летию образования Министерства общего машиностроения (МОМ). На протяжении 26 лет МОМ координировало в СССР работу множества научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, предприятий, занятых разработкой и производством систем и средств для освоения космоса, а также ракетно-ядерного вооружения. Первым руководителем министерства был С.А. Афанасьев, имя которого носит «Техномаш», и мы чувствуем свою сопричастность этой трудной, но невероятно интересной эпохе.

И.о. генерального директора ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева

Ю.В. Власов



СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово Ю.В. Власова Обращение к читателям	1
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ	
Должанский Ю.М., Илингина А.В., Стешин А.А. Российско-белорусский космический аппарат нового поколения – перспективный проект совершенствования системы дистанционного зондирования Земли	4
ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Вайцехович С.М., Кузин А.И., Журавлёв А.Ю. Высокотемпературное гидродинамическое прессование труднодеформируемых сталей и сплавов	9
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	
Гриценко Ю.А., Новиков П.П., Рахмилевич Е.Г.	
Экономические санкции – шанс восстановления отечественной инструментальной	
промышленности	5
СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП	
Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С.	
Методология многокритериальной оценки и выбора наиболее приоритетных альтернатив фундаментальных исследований	2
Нантелеев К.д., Горцев Е.С. Автоматизированные контролирующие модули в системах обеспечения показателей	
технического уровня изделий РКТ	8
Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С.	
Вопросы информационного обеспечения задач проектного анализа и оценки надежности перспективных систем ракетно-космической техники	3
Методы исследования и обеспечения стабильности технологических процессов при анализе	
показателей качества и надежности создаваемых изделий ракетно-космической техники	9
Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С. О формировании оптимальных планов проведения научно-исследовательских работ	
при обеспечении показателей технического уровня космических систем	4
ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ	
Кулик В.И., Щегольсков В.П., Смирнов А.В., Степанов В.В., Мучило Ф.М.	
Современные концепции разработки системы управления для дуговой сварки	0
Разработка специального технологического оборудования для электронно-лучевой сварки тепловых труб космических аппаратов	4
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ	
Дорохин Ю.Н., Рябчиков П.В., Лобастов М.М.	
Неисправности производственного характера ракетно-космической техники.	1
Проблемные вопросы технологической подготовки производства	1
Вопросы качества и надежности, реализуемые в рамках Программы стандартизации ракетно-космической техники	4
•	



CONTENTS

Opening Remarks by Y.V. Vlasov Message to Readers	. 1
STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND METROLOGY	
Dolzhanskiy Y. M., Ilingina A.V., Steshin A.A. A Next-Generation Russian-Belorussian Space Vehicle is Advanced Project of Earth Remote Sensing System Improvement	. 4
BLANK PRODUCTION TECHNOLOGIES	
Vaytsekhovich S.M., Kuzin A.I., Zhuravlev A.Y. High-Temperature Hydrodynamic Pressing of Difficult-to-Form Steels and Alloys	. 9
TOOLING MANUFACTURING	
Gritsenko Y.A., Novikov P.P., Rakhmilevich E.G. Economic Sanctions - a Chance To Restore the Russian Tooling Industry	15
CURRENT REQUIREMENTS AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF AEROSPACE ENTERPRISES	
Panteleev K.D., Rakhmilevich E.G., Yurtsev E.S. Methodology for Multi-Criteria Assessment and Selection of the Highest Priority Alternatives of Fundamental Research	22
Automated Monitoring Modules in Systems for Maintaining of the Technical Level Indicators of Aerospace Products	28
Information Support Aspects for the Problems of Design Analysis and Reliability Assessment	33
Panteleev K.D., Yurtsev E.S.	39
On the Optimal Plans Formation for the Research & Development Efforts During Achievement of technical Level Indicators of the Space Systems	44
WELDING AND BRAZING TECHNOLOGIES	
Kulik V.I., Schegolskov V.P., Smirnov A.V., Stepanov V.V., Muchilo F.M. State-of-the-Art Development Concepts for Arc Welding Control Systems	50
Heat Transfer Pipes	54
STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND METROLOGY	
Ryabchikov P.V., Tarasov V.V., Kruglov I.A.	61
Quality and Reliability Issues Implemented under the Standardization Program for the Aerospace Hardware	64





УДК 629.78

Должанский Ю.М., Илингина А.В., Стешин А.А. Dolzhanskiy Y. M., Ilingina A.V., Steshin A.A.

Российско-белорусский космический аппарат нового поколения – перспективный проект совершенствования системы дистанционного зондирования Земли

A Next-Generation Russian-Belorussian Space Vehicle is Advanced Project of Earth Remote Sensing System Improvement

В статье приведены сведения о разработке перспективного российско-белорусского космического аппарата и результатах технологической экспертизы эскизного проекта изделия.

Information about the development of advanced Russian-Belorussian space vehicle and the results of draft project technology evaluation of the article is presented in the paper.

Ключевые слова: космический аппарат, дистанционное зондирование Земли, научно-техническое сопровождение, эскизный проект, техническая экспертиза, технология намотки-выкладки, углепластики.

Keywords: space vehicle, earth remote sensing, R&D support, draft project, technical evaluation, winding-laying technology, carbon fiber reinforced plastics.

Создание перспективных функциональных элементов и систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) относится к числу важнейших задач практического освоения космоса.

Новый российско-белорусский импортоориентированный проект, российским заказчиком которого выступает Госкорпорация «Роскосмос», а белорусским — Национальная академия наук Беларуси, ставит своей целью повышение практической эффективности космической системы ДЗЗ за счет использования космического аппарата с аппаратурой нового поколения, не уступающей по своим характеристикам лучшим мировым аналогам, в том числе американским спутникам семейства WorldView-2,3,4 коммерческого оператора Digital Globe, на сегодня — мирового лидера на рынке услуг космического ДЗЗ.

Помимо всего, эксплуатация нового космического аппарата должна обеспечить соответствующие ведомства России и Беларуси собственной, максимально достоверной информацией, не всегда доступной на внешнем коммерческом рынке.

Исходным плацдармом реализации проекта стал успешный опыт совместных работ России

и Беларуси по созданию и эксплуатации российско-белорусской орбитальной группировки, включающей российский («Канопус-В») и белорусский (БКА) космические аппараты, разработанные в своё время кооперацией предприятий Союзного государства.

В настоящее время ряд российских и белорусских организаций приступили к эскизному проектированию российско-белорусского космического аппарата (РБКА) с соответствующей космической системой (РБКС), в результате которого будет определён облик РБКА, выбрана оптико-электронная аппаратура, позволяющие успешно решить заявленные в проекте цели, а также обеспечен запуск и сопровождение функционирования РБКА в составе космической группировки соответствующих спутников.

Разрабатываемый РБКА станет одним из ключевых элементов обновлённой системы ДЗЗ, комплекс оптико-электронного наблюдения которого будет производить:

- панхроматическую съёмку и стереосъемку с разрешением не хуже 0,4 м;
 - HD-видеосъемку с разрешением не хуже 1,0 м;



- мультиспектральную съемку высокого разрешения в видимом и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах;
- суточную производительность съёмок не менее $300~000~{\rm km^2}$, в том числе, не менее $100~000~{\rm km^2}$ в режиме стереосъёмки.

Космические снимки и цифровая информация, получаемая с РБКА при ДЗЗ, станут высокоточной геопространственной основой принятия оптимальных решений для многих важнейших задач градостроительного проектирования, муниципального управления, кадастрового учета земель и картографирования, в том числе создания получения цифровых моделей рельефа и решения важнейших производственно-экономических задач:

- объективной инвентаризации природных макро-ресурсов (сельскохозяйственных и лесных угодий, пастбищ, промысловых районов, в том числе промысла морепродуктов и др.);
- оперативного мониторинга деятельности в сельской, лесной, рыбной, водной и других отраслях государств;
- государственного топографического мониторинга в целях актуализации общегеографических и тематических карт, топографических карт и планов городов и т.п.;
 - создания цифровых моделей рельефов;
- мониторинга загрязнения и деградации природной среды;
- мониторинга чрезвычайных ситуаций (наводнений, засух, оползней и др.);
- государственного экологического мониторинга;
- инвентаризации и контроля строительства новых инфраструктурных объектов.

В рамках комплексного проекта РБКС на российскую сторону возложены: разработка, изготовление, сборка и испытания спутника в целом и обеспечение запуска КА на орбиту.

Беларусия создаст оптико-электронную съемочную аппаратуру сверхвысокого пространственного разрешения, а элементы наземной инфраструктуры управления КА, приема и обработки получаемой целевой информации будут разработаны совместно российскими и белорусскими предприятиями.

Наконец, совместно будут созданы элементы наземной инфраструктуры управления РБКА,

приема и обработки получаемой целевой информации.

Следует отметить, что новый проект реализуется на базе научно-технического и технологического заделов, полученных кооперацией российских и белорусских предприятий при создании КА БКА, «Канопус-В» и ряда других, успешно эксплуатируемых в космосе с 2012 года, в единой орбитальной группировке.

Предполагается, что разрабатываемый аппарат сможет войти в перспективную совместную орбитальную группировку КА ДЗЗ стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС), создание которой включено в проект Межгосударственной программы «Интегрированная система государств-членов ЕАЭС по производству и предоставлению космических и геоинформационных услуг на основе национальных источников данных дистанционного зондирования Земли», а также что обновлённая группировка КА ДЗЗ стран ЕАЭС будет эффективно конкурировать на международном рынке, в частности с американской «Digital Globe» и др.

Предполагаемый облик РБКА приведен на рис. 1.



Рис. 1. Предполагаемый облик РБКА

В настоящее время разработан эскизный проект РБКА, в рамках которого на ФГУП «НПО «Техномаш» возложено проведение экспертизы принятых в эскизном проекте конструктивных и производственно-технологических решений по корпусным элементам конструкции аппара-



та и анализ машиностроительных технологий, применяемых при создании корпусных элементов РБКА.

Результаты проведенной экспертизы изложены ниже.

Основной конструктивной сборкой РБКА является силовая конструкция корпуса (СКК), представляющая собой (рис. 2) углепластиковую сетчатую конструкцию, состоящую из четырех отдельных секций: трех конических и одной цилиндрической, соединяемых с использованием алюминиевых шпангоутов.

Элементы СКК предложено изготавливать намоткой. В качестве материала разработчиками выбран препрег на основе углеродных волокон М46J и эпоксидного связующего ЭХД-МД.

В пояснительной записке эскизного проекта указано, что расчетная масса разработанной конструкции СКК почти вдвое превысила заданное в ТЗ значение, при этом отмечено, что это произошло из-за веса элементов крепежа и торцевых шпангоутов.

По части эскизного проекта, касающейся конструкции и технологии изготовления СКК,

ФГУП «НПО «Техномаш» сделаны следующие основные замечания:

- в материалах эскизного проекта не представлены директивная технологическая документация и перечень новых технологических процессов, рекомендуемых для изготовления изделия;
- не рассмотрены вопросы технологии контроля геометрических параметров элементов и узла в целом применительно к геометрии изделий сетчатой структуры;
- не рассмотрены вопросы неразрушающего контроля изделий в сборе;
- отсутствует упоминание о необходимости и технологии дегазации изделия.

В связи с существенными отклонениями от требований ТЗ по массе, предлагаемой в эскизном проекте конструкции, рекомендовано рассмотреть альтернативные варианты изготовления конструкции СКК, в частности изготовление секций СКК 2,3 и 4 единой деталью за один цикл формования, используя технологии намотки/выкладки с последующим автоклавным формованием.

Одним из конструктивных элементов СКК является так называемый «Адаптер» (рис. 3), несущий элемент системы отделения РБКА.

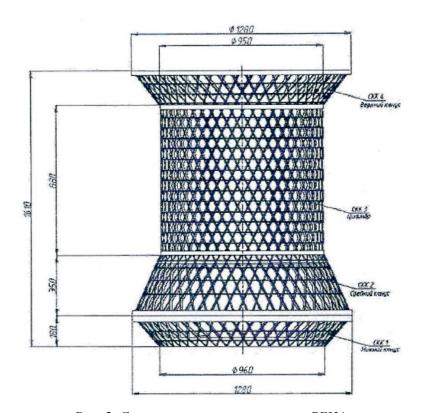


Рис. 2. Силовая конструкция корпуса РБКА



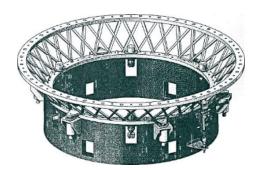


Рис. 3. Адаптер РБКА

Предложенный вариант конструкции адаптера представляет цилиндрическую углепластиковую обечайку с размещенными на ней элементами крепления навесного оборудования и углепластиковыми шпангоутами — верхним и нижним.

На верхнем торце адаптера расположены шесть алюминиевых фитингов для установки пиросредств системы отделения.

Расчетная масса адаптера, представленного в эскизном проекте, также превышает заданную в ТЗ, при этом, как указано в пояснительной записке эскизного проекта, снижение массы адаптера возможно, однако оно приведет к существенному снижению первой собственной частоты колебаний сборки адаптера с СКК и в связи с этим является нецелесообразным.

По данному конструктивному элементу РБКА ФГУП «НПО «Техномаш» повторены

замечания, сделанные по узлу СКК, и рекомендованы к рассмотрению альтернативные варианты его изготовления, в частности, по технологиям намотки/выкладки с применением сотовых наполнителей и формованием в автоклаве.

Внешний контур корпуса формируется, так называемыми сотопанелями — боковыми и донными (рис. 4), используемыми для размещения на внутренней их стороне бортового оборудования и приборов, при этом внешняя сторона сотопанелей со специальными на них покрытиями может выполнять функции излучательных радиаторов.

В эскизном проекте описаны принципиальная конструкция и типовой технологический процесс изготовления сотопанелй производства АО «ИСС им. академика М.Ф. Решетнё-

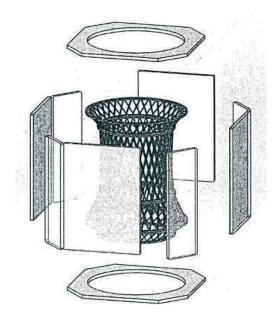


Рис. 4. Типовые сопанели СКК





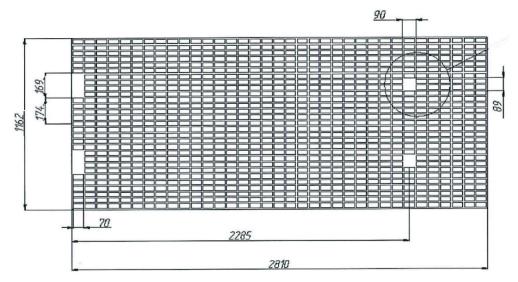


Рис. 5. Панель каркасов батарей (с местами формирования закладных элементов)

ва», непривязанная к конфигурации, размерам и техническим требованиям конкретных сотопанелей РБКА, что не позволило ФГУП «НПО «Техномаш» сделать соответствующее заключение по этим деталям.

Ещё одним конструктивным элементом РБКА, рассмотренным ФГУП «НПО «Техномаш» в порядке экстертизы эскизного проекта изделия, являются панели каркасов фотоэлектрических батарей (рис. 5).

Предложенные в эскизном проекте конструктивно-технологические решения данного элемента (углепластиковая конструкция сетчатой структуры прямоугольной формы с закладными элементами крепления, продольнымие и

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

Тел.: 8 (495) 689-97-04, доб. 24-27. E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Илингина Алла Валерьевна – начальник отделения ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева. Тел.: 8(495) 689–96–90. E-mail: a.ilingina@tmnpo.ru

Стешин Андрей Александрович – начальник отдела ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева. Тел.: 8(495) 689–96–19. E-mail: A.Steshin@tm.fsa

поперечными ребрами Т-образного профиля) приняты без замечаний.

В заключение отметим, что в части вопросов метрологии, в нарушение требований приказа Госкорпорации «Роскосмос» от 21.09.2018 № 294, на этапе эскизного проектирования головной организации Госкорпорации «Роскосмос» по метрологическому обеспечению РКП не представлены на согласование указанные в приказе документы: Программа и Методика проведения метрологической экспертизы проекта и План метрологического обеспечения российско-белорусской космической мы исследования природных ресурсов Земли в целом.

Dolzhanskiy Yurii Mikhailovich - Doktor Nauk in Engineering, Principal researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8 (495) 689–97–04, ext. 24–27. E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Ilingina Alla Valeryevna – Division Head of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–96–90. E-mail: a.ilingina@tmnpo.ru

Steshin Andrei Aleksandrovich – Department Head of FSUE «NPO «Technomac» named after S. A. Afanasyev.

Tel.: 8(495) 689–96–19. E-mail: A.Steshin@tm.fsa



УДК 620.175.24:669

Вайцехович С.М., Кузин А.И., Журавлёв А.Ю. Vaytsekhovich S.M., Kuzin A.I., Zhuravlev A.Y.

Высокотемпературное гидродинамическое прессование труднодеформируемых сталей и сплавов

High-Temperature Hydrodynamic Pressing of Difficult-to-Form Steels and Alloys

Проведён анализ современного развития методов пластического деформирования труднодеформируемых сталей и сплавов. Изложена методика разработки технологического процесса выдавливания прутков и труб методом диагональной пластической деформации. На основании анализа напряжённо-деформированного состояния процессов осесимметричного выдавливания пластически неоднородного тела сформулированы требования к инструменту, обеспечивающему диагональное течение металла. Предложены теоретические расчёты и рекомендации по геометрии диагональной матрицы и ресурсам пластичности. Дана оценка эффективности использования диагонального течения прессования.

The analysis of the state-of-the-art plastic strain methods of difficult-to-form steels and alloys is carried out. The process design method for bars and tubes extrusion using diagonal plastic strain technique is described. Based on the analysis of the stress-strain state of the axial symmetric extrusion processes of a plastically non-homogeneous body, the requirements for the tool that support the diagonal flow of metal are defined. Theoretical calculations and recommendations on the geometry of the diagonal die and plasticity limits are proposed. An effectiveness evaluation of using the diagonal pressing flow is given.

Ключевые слова: пластическая деформация, сдвиг, штамповая оснастка, диагональное течение металла.

Keywords: plastic strain, shear, die tooling, diagonal metal flow.

Введение

Современное развитие энергомашиностроения требует непрерывного повышения производства изделий из малопластичных жаропрочных сплавов на никелевой основе, которые обладают низким ресурсом пластичности, отличаются узким температурным интервалом обработки давлением и могут быть пластически обработаны только в сложных условиях изотермической деформации.

В настоящее время разработано большое количество жаропрочных никелевых сплавов и тугоплавких материалов на основе вольфрама, молибдена, тантала, ниобия и др., относящихся к «суперсплавам», удовлетворяющим постоянно растущие, высокие требования к конструкционным материалам.

Любое внедрение на стадии литья в расплав металла тугоплавких составляющих в дальнейшем характеризуется упрочнением структуры материала, повышением его рабочих температур. Например, упрочнение никелевых сплавов достигается как высоким легированием аустенитной матрицы, так и за счёт дисперсионного твердения и выделения карбидов. Особенно эффективным является упрочнение дисперсными когерентными частицами γ' -фазы (в основном N_{i3} (Al, Ti), что существенно снижает деформируемость. Это относится к «суперсплавам» с высоким содержанием упрочняющей фазы, обладающим высоким сопротивлением к деформированию и узким температурным интервалом деформации, например, от 1150°C до 1190°C для XH60К3ЮМБ (ЭП 957-ВД) [1].



Высоколегированные жаропрочные никелевые сплавы с большим содержанием γ' -фазы (50–60%) не способны к традиционным способам пластической обработки. Они нуждаются в более благоприятных схемах деформирования либо возможного расширения температурного интервала деформирования и сохранения равномерности распределения температуры (изотермические условия).

Пластическая деформация подобных материалов является одним из способов улучшения литейной структуры, устранения дефектов, что напрямую связано с повышением физико-механических свойств. Обычно такая обработка используется на стадии металлургического передела с помощью традиционных операций ковкиштамповки, прокатки и прессования.

Жаропрочные и тугоплавкие стали и сплавы в механике обработки металлов давлением (ОМД) относят к труднодеформируемым материалам.

Однако процессы ковки-штамповки, прокатки и прессования характеризуются значительной неравномерностью распределения напряжений и деформаций [2] и высоким уровнем использования ресурса пластичности материала непосредственно при обработке.

Из сказанного очевидна актуальность разработки новых схем ОМД литого малопластичного материала. Одним из таких технологических процессов, реализующих деформацию чистого сдвига [4], является высокотемпературное гидропрессование (ВТГП) Чистый сдвиг изменяет размеры заготовок

в двух основных направлениях, что приводит к значительному уменьшению площади поперечного сечения и его максимальному геометрическому искажению.

Перспектива промышленного использования ВТГП применительно к труднодеформируемым материалам сдерживается возможностью создания штампового инструмента из специальных материалов (эвтектических, углеродного волокна и др.), способных работать при температурах 1200–1500°C.

Кроме того, необходимо учитывать основные требования к их эксплуатационным свойствам: высокие показатели горячей твёрдости, теплоёмкости и стойкости против окисления.

В настоящее время для обработки давлением титановых сплавов известен выбор штампового материала. Применяются никелевые сплавы типа ЖС6К [4], имеющие предел прочности при растяжении 1050 МПа, текучести 950–1000 МПа при 20°С и предел прочности 450 МПа при 1050°С. Максимальные рабочие температуры при обработке титановых сплавов составляют 870–930°С.

Для жаропрочных, тугоплавких сталей и сплавов вопрос наличия штамповых материалов остаётся открытым. Указанные обстоятельства вынуждают специалистов разрабатывать альтернативные способы ОМД за счёт более благоприятных схем деформирования с приданием конечному изделию нужной геометрической формы с требуемыми физико-механическими свойствами и высоким коэффициентом использования материала.

Разработка технологии немонотонного деформирования

Согласно теории пластичности во всех процессах ОМД можно выделить два вида пластического течения, которые принципиально отличаются воздействием на структуру деформируемого материала.

Первый тип деформирования – диагональное течение, реализует чистый сдвиг, второй – равно-канальное угловое прессование, – простой сдвиг.

Диагональное выдавливание заготовок проводят при температуре 0,5÷0,7 от температуры плавления материала с использованием квазижидких сред на основе графита и жидкого

стекла. Диагональное течение характеризуется совпадением вектора скорости материальных частиц с одним из главных направлений тензора напряжений во всем очаге деформации. В этом случае при минимальных энергетических затратах металл получает остаточную пластическую деформацию. В процессе диагонального течения всякая деформация осуществляется простым растяжением (сжатием) в трех взаимно перпендикулярных (главных) направлениях.

Для получения деформированной структуры и требуемого уровня прочностных свойств при



минимальных энергетических затратах и максимальном использовании ресурса пластичности материала в условиях металлургического передела рекомендуется пластическую обработку труднодеформируемых материалов реализовывать по схеме диагонального течения.

С этой целью разработаны достаточно надежные критерии прогноза разрушения металла в процессе пластической деформации [5, 6].

Учитывая вышеизложенное и используя основные уравнения осесимметричного пластического течения, математически можно смоделировать геометрический профиль матрицы, который реализует диагональный процесс течения.

Для расчёта геометрического профиля матрицы используются следующие зависимости:

– уравнения осесимметричной деформации при условии текучести Мизеса в цилиндрических координатах (r, θ, z) :

$$\left\{ \frac{\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial r_z}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0}{\frac{\partial r_z}{\partial r} + \frac{\tau_x}{\tau} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0} \right\},$$
(1)

где ∂ — символ частного дифференцирования; r — цилиндрическая координата в радиальном направлении; z — цилиндрическая координата в ортогональном направлении; θ — угловая цилиндрическая координата.

Уравнения (1) являются уравнениями равновесия при отсутствии массовых сил, причем отличные от нуля компоненты напряжения σ_{r} , σ_{θ} , σ_{z} , σ_{rz} и составляющие скорости u, ω являются функциями только координат r, z

$$\zeta_r = \frac{\partial u}{\partial r}, \ \xi_\theta = \frac{u}{r}, \ \xi_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \ \eta_z = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r};$$
(2)

условие идеальной пластичности по Мизесу:

$$(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + \tau_E = k^2$$
, (3)

где $\sigma_{,\!r}, \sigma_{\theta^{,\!r}}, \sigma_{z^{,\!r}}$ – компоненты тензора напряжений, k – предел текучести на сдвиг;

ассоциированный закон пластического течения, обеспечивающий связь компонент напряжений со скоростями деформации:

$$\sigma_{r} = \sigma + \frac{2 \cdot k}{H} \cdot \xi_{r},$$

$$\sigma_{z} = \sigma + \frac{2 \cdot k}{H} \cdot \xi_{z}$$

$$\sigma_{\theta} = \sigma + \frac{2 \cdot k}{H} \cdot \xi_{\theta},$$

$$\tau_{z} = \frac{k}{H} \cdot \eta_{z}$$

$$(4)$$

где $\sigma = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z}{3}$ — гидростатическое давление; ξ_r , ξ_θ , ξ_z^3 , η_z — компоненты скоростей деформации;

 интенсивность скоростей деформации сдвига:

$$H = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{(\xi_r - \xi_\theta)^2 + (\xi_\theta - \xi_z)^2 + (\xi_z - \xi_r)^2 + \frac{3}{2} \cdot \eta_z^2} \; ; \; (5)$$

уравнения компонент скорости деформации, удовлетворяющие условию несжимаемости:

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$
(6)

При исследовании задач осесимметричной деформации следует отметить, что использование более общей модели пластически неоднородной среды (предел текучести на сдвиг

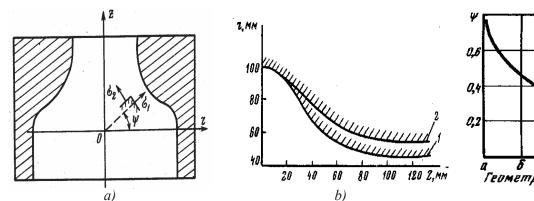
 $k = \frac{\sigma_1}{\sqrt{3}}$ является функцией r; z) позволяет учесть свойства материала, такие как упрочнение, зависимость от неоднородности температурного поля и др.

При использовании модели пластически неоднородного тела (1–6) не претерпевают изменений, за исключением изменения в соотношениях условиях пластичности (4) и (2), где вместо постоянной текучести k следует использовать функцию k (r, z).

Уравнения (1–6) образуют систему уравнений с шестью неизвестными σ_r , σ_θ , σ_z , τ_z , u, θ или эквивалентными им шестью величинами. В общем случае решение этой системы прямыми методами является сложной задачей, поэтому при решении конкретных осесимметричных задач пластического деформирования используют либо приближённые методы, либо достаточно эффективные обратные и полуобратные методы решения, которые применительно к модели пластически неоднородной среды сводятся к следующему:







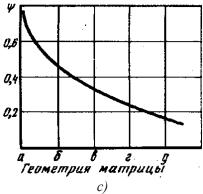


Рис. 1. Расчётный профиль матрицы диагонального осесимметричного сечения: а) профиль матрицы диагонального осесимметричного сечения, где Ψ – ресурс пластичности; σ_1, σ_2 – компоненты тензора напряжений в главных направлениях;

- b) рассчитанные профили матриц, обеспечивающие диагональное течение в условиях осесимметричной деформации, где zor – цилиндрическая система координат; поз. 1 – вытяжка металла при $\lambda = 4$; поз. 2 – вытяжка металла при $\lambda = 2$;
- с) влияние геометрии матриц на ресурс пластичности при выдавливании ниобий-титанового сплава NbTi-50, где а – коническая матрица, полный угол раствора $2\alpha = 105^{\circ}$; б – коническая матрица – $2\alpha = 60^{\circ}$; в – выпуклая матрица; г – вогнутая матрица; д – сигмоидальная матрица
- выбирают кинематические допустимые поля скоростей, удовлетворяющие граничным условиям для скоростей и некоторым требуемым деформационным условиям, ограничениям либо соотношениям;
- определяют и изучают тот класс моделей пластически неоднородных тел, для которого принятое кинематическое допустимое поле скоростей можно определить в качестве действительного.

Если из класса возможных моделей пластически неоднородных тел удаётся выбрать определённую модель пластически однородного тела, имитирующую свойства реальной среды, то полученное решение для скоростей и напряжений в рамках принятой модели принимают в качестве обратного. Если из указанного действия не удаётся выбрать модель пластически неоднородного тела, то повторяют весь начальный принцип поиска обратного решения. Таким образом, можно прийти к приемлемому решению для скоростей и напряжений, называемому полуобратным.

В настоящем исследовании в целях снижения повреждений при осесимметричном выдавливании и волочении заготовок с продольно ориентированными волокнами применена матрица с вогнуто-выпуклой образующей.

На основе численного решения приведённых уравнений (1-6) получен профиль матрицы, зависящий от величины вытяжки материала λ (рис. 1: a, b, c) [7].

Течение металла при прессовании через сигмоидальную матрицу наиболее близко к диагональному, поэтому для этой матрицы получены наилучшие результаты по реализованному ресурсу пластичности. Важным свойством диагонального течения труднодеформируемого материала является минимум энергетических затрат по сравнению с другими видами течения при одинаковом формоизменении в процессе выдавливания, т.е. для одинаковых вытяжек. В деформированном материале возможно достижение однородности деформации по всему объёму, если направление максимального сдвига по всему объёму остаётся постоянным.

Достижение указанного механизма деформации теоретически возможно во всём объёме материала одновременно, однако с практической точки зрения данное условие трудно осуществимо, если вопрос идёт о промышленной реализации процесса.

В табл. 1 представлены сравнительные результаты экспериментальных работ по традиционной технологии горячего прессования (ГП) и ВТГП.



Таблица 1. Механические свойства прутков и труб из молибденового сплава ТСМ-7 (испытания на растяжение при комнатной температуре)

	Механические характеристики				
Вид изделий	Способ получения	σ _{в, ΜΠа}	σ _{0,2} , ΜΠα	δ, %	ψ _{, %}
Пруток	ГП + K без т/о *	830	_	22,7	51,7
Ø20 мм	ГП + К + отжиг 1100 °С 1 час	790	790	37–46	73–85
	ГП + К + отжиг 1600 °С 1 час	560	510	25	54
Пруток	ВТГП без т/о **	930	890	26	56
Ø20 мм	ВТГП + отжиг 1100 °C 1 час	850	_	49	91
Труба Ø40х6,5 мм)	ГП + К без т/о	720	655	21,3	53
	ГП + К + отжиг 1100 °С 1 час	630	515	26,6	56
Труба Ø40х6,5 мм)	ВТГП без т/о	780	675	26,6	56
	ВТГП + отжиг 1100 °C 1 час	690	580	29,5	_

^{*} $\Gamma\Pi$ + K без т/о – горячее прессование + ковка без термообработки.

Гидропрессованный металл характеризуется сочетанием высоких прочностных и пластических свойств. Предел прочности прутков и труб достигает 720-930 МПа, причем при температурах отжига до 10000С прочность практически не снижается. При дальнейшем повышении температуры отжига до 16000С прочность понижается, оставаясь на уровне 520-650 МПа, в то время как у прутков и труб, полученных традиционными способами при температуре отжига порядка 16000С, ов = 220÷265 МПа. Относительное удлинение гидропрессованных прутков и труб в деформированном состоянии составляет 20÷27% и при повышении температуры отжига до 16000С не снижается, достигая 45÷50%.

Анализ свойств изделий у потребителей показал, что металл, полученный по схеме двойного гидропрессования, по уровню и стабильности физико-механических и эксплуатационных свойств значительно превосходит аналогичные изделия, полученные по традиционной технологии.

Рассмотрим реализацию сформулированных принципов разработки технологии деформации тугоплавких металлов на примере построения технологического процесса изготовления прутков ØI5÷25 мм из молибдена МЧВП [2].

Расчёты показали, что для сигмоидальной матрицы износ инструмента значительно ниже, чем для конических и выпуклых матриц. Изучено влияние формы матрицы на износ инструмента:

- для матриц с конической формой (полный угол раствора $2\alpha = 150^{\circ}$, 120° , 90°);
- для матриц с выпуклой и сигмоидальной формами образующей матриц.

В частности, при использовании конических матриц износ составил от 1 до 7 мм за 1 прессование на длине прутков 450–600 мм. У матриц с выпуклой заходной частью из-

Таблица 2. Сравнение результатов проведения пластической деформации методами традиционной и предлагаемой технологий

Технология изготовления прутков	Свойства полученных изделий
Традиционная схема процесса изготовления прутков, – горячее прессование, ковка в бойках, ротационная ковка или сортовая прокатка	при $Tx = 500C$, $\sigma_B = 670-720 \text{ M}\Pi a$, $\delta = 12 - 15\%$
Предлагаемая схема получения прутков диагональным течением, – горячее прессование сливов + рекристаллизационный отжиг с последующим высокотемпературным гидропрессованием заготовок	при $Tx = -100C$, $\sigma_B = 840-920 \text{ M}\Pi a$, $\delta = 22-26\%$



^{**} ВТГП без т/о – высокотемпературное гидропрессование без термообработки.

нос составил 1,5-2,5 мм, а у сигмоидальной -0,1-0,5 мм.

Из представленных данных следует, что введение операции равноканального прессования между операциями деформации с пре-

имущественным диагональным течением обеспечивает получение как прутковых, так и листовых полуфабрикатов с повышенными на 25–30% прочностными и пластическими характеристиками.

Заключение

На основе анализа современных тенденций развития методов пластического деформирования труднодеформируемых сталей и сплавов, а также положений теории пластического течения предложена технология гидропрессования в условиях диагонального течения труднодеформируемых материалов. На примере методики обратного расчёта для выдавливания прутков показана возможность математического решения задачи влияния геометрии матрицы на осесимметричное деформирование металлов, с учётом скоростей деформации и

температурной неоднородности в условиях диагонального сечения металла.

Представлена геометрия диагональной матрицы, влияющая на увеличение ресурса пластичности материала. На базе исследований чистого сдвига приведены расчётные данные для практической реализации высокотемпературного гидропрессования, влияния накопленной деформации сдвига на измельчение структуры материала, повышение его пластических свойств с сохранением изначально прочностных характеристик.

Библиографический список

- 1. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы. Справочник. Москва. Металлургия, 1983. 192 с.
- 2. Совершенствование процессов и машин обработки металлов давлением. Киев УМК ВО. Краматорский индустриальный институт 1988. 208 с.
- 3. Прозоров Л.В., Костава А.А., Ревтов В.Д. Прессование металлов жидкостью высокого давления. Машиностроение. Москва. 1972. 152 с.
 - 4. ОСТ 1 90126-85 Сплавы жаропрочные литейные вакуумной выплавки.
- 5. Вайцехович С.М., Михалевич В. М., Бараев А.В., Кривенко Г.Г., Красуля А.А. Тензорно-нелинейная модель А. А. Мишулина В. М. Михалевича разрушения деформируемых пористых материалов // Технология машиностроения. 2016. №10. С. 18—25.
- 6. Mikhalevich V. M. The model of ultimate strains during hot deformation / V. M. Mikhalevich // Izvestia Akademii nauk SSSR. Metally (5). 1991. pp. 89–95.
- 7. Вайцехович С.М., Бараев А.Ю. Журавлёв А.Ю. Производство изделий из труднодеформируемых металлов немонотонным деформированием // Металлургия машиностроения. 2020, №5. С. 37–40.

Вайцехович Сергей Михайлович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

Тел.: 8 (495) 689–95–87, доб. 95–87. E-mail: ask-mlad@mail.ru

Vaytsekhovich Sergei Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Senior researcher, Principal researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

Tel.: 8 (495) 689–95–87, ext. 95–87. E-mail: ask-mlad@mail.ru

Кузин Анатолий Иванович – д-р техн. наук, первый заместитель генерального директора Φ ГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.

Тел.: 8 (495) 689 -47–53, E-mail: A.Kuzin@tm.fsa Kuzin Anatoliy Ivanovich – Doktor Nauk in Engineering, First Deputy CEO of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8 (495) 689 -47–53. E-mail: A.Kuzin@tm.fsa

Журавлёв Алексей Юрьевич — начальник отделения технологий заготовительного производства ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8 (495) 689–96–90. E-mail: A.Zhuravlev@tmnpo.ru Zhuravlev Aleksey Yurevich – Head of Blank Production Technologies Division of FSUE «NPO «Technomac».

Tel.: 8 (495) 689–96–90. E-mail: A.Zhuravlev@tmnpo.ru



УДК 621.753.5

Гриценко Ю.А., Новиков П.П., Рахмилевич Е.Г. Gritsenko Y.A., Novikov P.P., Rakhmilevich E.G.

Экономические санкции – шанс восстановления отечественной инструментальной промышленности

Economic Sanctions – a Chance To Restore the Russian Tooling Industry

В статье представлен анализ применения металлорежущего инструмента и технологической оснастки импортного производства. Рассмотрены вопросы решения задач по обеспечению технологической независимости, технологической безопасности и технологического прорыва в обороннопромышленном комплексе для замещения продукции импортного производства.

The article presents an analysis of using metal cutting tools and technological equipment of foreign production. The issues of problem solving for assuring technological independence, technological safety and technological breakthrough in Military-Industrial Complex for the substitution of the imported products are considered

Ключевые слова: инструмент, импортозамещение, машиностроение, санкционные ограничения, меры поддержки отечественного производителя.

Keywords: tool, import substitution, machine building, sanction restrictions, support measures for Russian manufacturers.

На предприятиях ракетно-космической промышленности (РКП) применяется инструментальная продукция как стандартная (по ГОСТ и ТУ) отечественного производства, импортных производителей (у дилеров производителей на территории России), так и собственного изготовления — специальная.

За последние несколько лет число зарубежных производителей, представляющих свой металлообрабатывающий инструмент и технологическую оснастку на предприятиях РКП, ощутимо возросло. Например, в 2019 году до 80% всей инструментальной продукции поступило из-за рубежа (рис. 1).

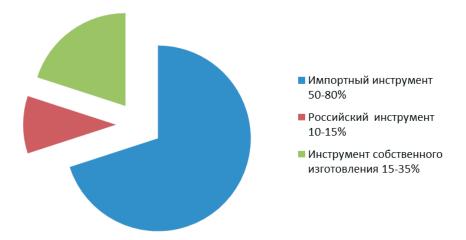


Рис. 1. Распределение долей между российской и импортной инструментальной продукцией по предприятиям РКП



Предприятия РКП закупают в основном инструмент производства Германии, Швеции, Израиля, Японии и Южной Кореи. Наиболее популярным является инструмент фирмы SANDVIK COROMANT (Швеция), ISCAR (Израиль), ZCC-CT (Китай). В России существует аналогичная продукция таких фирм, как «СКИФ-М», «НИР», «Томский инструмент», «Кировоградский завод твердых сплавов», «Победит», «Микробор», «Вириал» и др. [1]. Инструмент отечественного производства не уступает иностранному, а в отдельно взятых случаях (обработка титана и жаропрочной стали) превосходит. Однако отечественный инструмент не пользуется популярностью у предприятий РКП из-за стабильности качества, сжатых сроков поставки, отсутствия должной рекламы на рынке, а также из-за тесного сотрудничества иностранных производителей с фирмами-интеграторами, которые совместно с поставками инструмента предлагают услуги по обеспечению полного цикла технологической подготовки производства.

Основные причины сложившейся ситуации:

- фактически не предпринимались попытки создания отраслевого интегратора - одной из последних была попытка приобретения Томского инструментального завода, находившегося тогда в процессе банкротства, Московским инструментальным заводом. На текущий момент немногие оставшиеся инструментальные заводы работают самостоятельно и конкурируют по большей части друг с другом, а не с иностранными производителями, сокращая маржу, которая могла бы пойти на развитие и исследования. По многим видам инструмента осталось всего один-два производителя промышленных масштабов (протяжной инструмент - Свердловский инструментальный завод; зуборезный инструмент -Московский инструментальный и Свердловский инструментальный заводы; резьбонакатный инструмент - Московский инструментальный и Томский инструментальный заводы);
- меры государственной поддержки инструментальной промышленности через механизм контроля обоснованности закупок импортного инструмента предприятиями оборонно-промышленного комплекса (ОПК) приняты значительно позже, чем в станкостроении и в настоящее время не оказывают значимого эффекта. Зачастую предприятия обходят такие ограничения, прописывая импортный

инструмент в директивный техпроцесс на изделия, изготавливаемые по государственному оборонному заказу (ГОЗ), либо выставляя инструмент на торги большими лотами, где смешивают позиции, у которых есть отечественные аналоги, с позициями, у которых таких аналогов пока нет;

- ряд инструментальных предприятий в своё время продан иностранным производителям, которые после получения клиентской базы фактически устранили конкурентов собственных производств. Так произошло с Московским комбинатом твёрдых сплавов, являвшимся самым передовым предприятием по выпуску твёрдого сплава в стране и после приобретения концерном SANDVIK, кратно сократившим объёмы производства (в настоящий момент производство закрыто, оборудование перемещено в Индию); с ООО «Фирма АЛГ», выпускавшим твердосплавные пластины и дисковые фрезы для обработки пазов охлаждения ракетных двигателей, которое после поглощения его новым владельцем чешской фирмой Pramet – всё тем же концерном SANDVIK закрыто, и некоторыми другими производствами;
- собственные инструментальные цеха пре приятий выпускают специальный инструмент и зачастую стандартный мелкими партиями, в основном, недозагружены. За счёт средств, выделявшихся на модернизацию производства, такие цеха сейчас оснащены современным, но малопроизводительным и однотипным импортным оборудованием и не составляют конкуренцию независимым российским и иностранным производителям на свободном рынке, предлагая простую и при этом более дорогую продукцию. Предприятия ОПК размещают свои потребности в собственных цехах фактически на безальтернативной основе, не стимулируя их эффективность и не давая возможности увеличивать объёмы производства независимым инструментальным заводам. Отсутствует единая диспетчерская и маркетинговая служба, которая бы объединяла мощности таких цехов и независимых инструментальных заводов и согласовывала их с потребностями ОПК;
- материалы, применяемые в инструментальном производстве, имеют иностранные происхождение. Твердосплавные заготовки, смеси для спекания твёрдых сплавов поставляются из Китая и Западной Европы и подвержены колебаниям цен, вызванным



установлением Китаем квот на вывод тугоплавких металлов. Быстрорежущая и инструментальная сталь необходимого балла карбидной неоднородности в России не изготавливается — имеющиеся в стране заводы специальной металлургии не заинтересованы ни в изготовлении малыми партиями (другие инструментальная промышленность заказать на текущий момент не может) стали необходимого качества, ни даже в поставках стали имеющегося качества в необходимые промышленности сроки;

наиболее важным обстоятельством является то, что доля и стоимость импортного инструмента, особенно высокотехнологичного и высокопроизводительного, велики, и он, в отличие от станков, не относится к основным средствам, его объёмы на складах предприятий ОПК невелики – обычно не превышают одно-двухмесячного объёма потребления. Срок поставки такого стандартного инструмента представительствами и дилерами иностранных производителей не превышает две-три недели, т.е. раз в одну-две недели инструмент, например твердосплавные пластины, фрезы, свёрла, оперативно доставляется в Россию международными курьер-

скими службами и распределяется на предприятияпотребители, не задерживаясь надолго на складах
посредника. Таким образом, в случае осложнения
международной обстановки, введения санкций,
резких изменений курсов валют, введения карантинных ограничений и других непредвиденных ситуаций запасы инструментов, имеющихся в России,
позволят продолжить работу предприятий ОПК, в
частности ракетно-космической отрасли в течение
нескольких месяцев, после чего их работа будет
парализована, т.к. российская инструментальная
промышленность не сможет в эти сроки заменить
дефицитные, в т.ч. критически важные для выпуска
изделий военного назначения позиции в необходимых объёмах;

– в постперестроечный период отечественной инструментальной промышленностью утрачен ряд компетенций, в т.ч. технологии производства мелкомодульных долбяков, червячных фрез с m>10, резьбообразующего инструмента (метчиков и плашек), накатных плашек и роликов, протяжек длиной более 0,8 м, качественного слесарно-монтажного инструмента.

Импортозамещение

В настоящее время против ряда российских предприятий действуют санкционные меры по поставке в Российскую Федерацию товаров двойного назначения для нужд обороны страны и безопасности государства, что явилось стимулом развития отечественного производства. Санкционное давление на Россию усиливается с каждым годом, и ожидать отмены санкций нецелесообразно, поэтому не-

обходимо решение комплексной (триединой) задачи по обеспечению технологической независимости, технологической безопасности и технологического прорыва в станкоинструментальной промышленности согласно Плану содействия импортозамещению в промышленности (распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.09.2014 №936-р) [2]. Алгоритм представлен на рис. 2.

ТРИЕДИНАЯ ЗАДАЧА

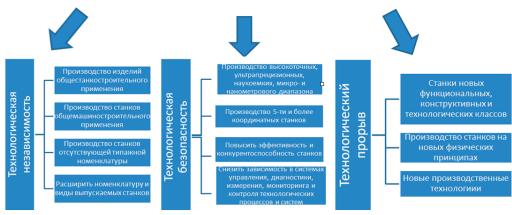


Рис. 2. Решение триединой задачи по обеспечению технологической независимости, технологической безопасности и технологического прорыва в станкостроении



Согласно части 3 статьи 14 Федерального закона «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд», постановления Правительства Российской Федерации от 14.01.2017 № 9 «Об установлении запрета на допуск товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок товаров, работ (услуг) для нужд обороны страны и безопасности государства» [3] установлен запрет на допуск товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок товаров, работ (услуг) для нужд обороны страны и безопасности государства. Исключения составляют случаи, когда производство таких товаров, выполнение работ и оказание услуг на территории Евразийского экономического союза отсутствуют.

В связи с принятием постановления Правительства Российской Федерации от 20.09.2017 № 1135 «Об отнесении продукции к промышленной продукции, не имеющей произведённых в Российской Федерации аналогов, и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации (с изменениями на 13.07. 2019)» [4] допускается поставка продукции импортного производства.

За 2019 год рост (согласно данных Ассоциации «Станкоинструмент») российского станкостроения составил около 5%, что примерно соответствует динамике последних лет. За четыре месяца 2020 года рост составил 30,5%. [5].

Согласно проекту сравнительного анализа финансового состояния российских организаций за 2019 год TestFirm.ru, который реализован компанией «ПрофСофт» [6] по заданию и под контролем специалистов аудиторской фирмы ПКАТ «Авдеев и Ко», крупных станкостроительных заводов в Российской Федерации насчитывается 22.

Вводятся обязательные квоты для госкорпораций на закупку отечественной продукции. Государственной думой Российской Федерации 23.06.2020 в первом чтении приняты поправки к законам «О контрактной системе» (44-ФЗ) и «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (223-ФЗ), предусматривающие введение механизма квотирования закупок госзаказчиками и госкомпаниями российской продукции. Суть поправок в том, что они наделяют Правительство Российской Федерации правом утверждать перечень товаров, на которые будет распространяться норма о квотировании, то есть Правительство Российской Федерации будет устанавливать количество станков, которое необходимо приобрести в рамках госзакупок.

В настоящее время действуют более 100 документов Правительства Российской Федерации, предусматривающих меры поддержки отечественного производителя металлообрабатывающего оборудования.

Подписан приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 29.05.2020 № 1755 «Об утверждении порядка выдачи Министерством промышленности и торговли Российской Федерации разрешения

Таблица 1. Количество станкостроительных заводов

	•			
№	Вид 1	Наименование деятельности	Кол-во организаций	Кол-во организаций ²
1	28.4	Производство станков, машин и оборудования для обработки металлов и прочих твердых материалов	693	11
2	28.41	Производство металлообрабатывающего оборудования	421	9
3	28.49	Производство прочих станков	219	2

^{1 –} Вид деятельности согласно ОКПД2.



² – Указано количество организаций с выручкой более 800 млн руб.

на закупку происходящего из иностранного государства промышленного товара, положения об отраслевых экспертных советах при Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации, порядка формирования и ведения реестра российской промышленной продукции, включая порядок предоставления выписки из него и ее форму, порядка формирования и ведения реестра евразийской промышленной продукции, включая порядок предоставления выписки из него и её форму» [7].

Председателем Правительства Российской Федерации Михаилом Мишустиным 10.08.2020 подписано постановление Правительства Российской Федерации №1206, согласно которому производители станков и инструментальной продукции, предоставляющие скидки своим клиентам, смогут получить субсидию от государства. Субсидия предоставляется в рамках подпрограммы «Развитие производства «средств производства» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» [8] в целях достижения показателя «Объем отгруженных товаров собственного производ-

ства, выполненных работ, услуг собственными силами (в отраслях производства средств производства)», установленного указанной подпрограммой. В 2020 году на эту меру поддержки запланированы 200 млн руб. В дальнейшем объём финансирования будет увеличен до 2 млрд руб. в год.

В постановлении Правительства Российской Федерации от 26.08.2020 № 1289 «Об авансировании договоров (государственных контрактов), о поставке промышленных товаров для государственных и муниципальных нужд, а также для нужд обороны страны и безопасности государства» [9] определены товары, закупка которых авансируется заказчиком не менее чем на 80% (но не более лимитов бюджетных обязательств). Данное постановление распространяется только на продукцию станкоинструментальной отрасли.

На заседании Правительства Российской Федерации, состоявшемся 15.10.2020, утверждена стратегия развития станкоинструментальной промышленности до 2035 года с задачей к 2035 году повысить уровень локализации производства станков с текущих 47% до 70%.

Мероприятия ФГУП «НПО «Техномаш», реализуемые в обеспечение снижения импортозависимости от станкоинструментальной продукции

В рамках решения протокола совещания Минпромторга России по вопросу развития инструментальной промышленности сийской Федерации и сопряжения спроса и предложения между потребителями и производителями инструментальной продукции от 07.12.2017 №05-1760 ФГУП «НПО «Техномаш» совместно с АО «ВНИИИНСТРУ-МЕНТ» проработан состав набора каталогов отечественных производителей режущего инструмента [10]. Данный набор каталогов служит для информационного обеспечения реализации постановления Правительства Российской Федерации от 14.01.2017 № 9 «Об установлении запрета на допуск товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок товаров, работ (услуг) для нужд обороны страны и безопасности государства» и поручения министра промышленности и торговли Российской Федерации от 30.11.2017 №МД-115, в соответствии с которым установлены нормативные значения по приобретению режущего инструмента отечественного производства.

В 2020 году ФГУП «НПО «Техномаш» в рамках технологического аудита АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» приступило к реализации пилотного проекта по анализу применяемой номенклатуры режущего инструмента и разработки практических предложений по импортозамещению инструментом внутриотраслевого и отечественного производства в целях обеспечения технологической устойчивости и сокращения затрат на закупки импортного инструмента. По результатам данного пилотного проекта будут разрабо-



таны дальнейшие мероприятия для реализации (тиражирования) накопленного опыта. В качестве опорного предприятия выбрано АО «Воткинский завод», совместно с которым ведется проработка вопроса создания отраслевого центра компетенции по твердосплавному концевому инструменту.

В целях повышения эффективности инструментального обеспечения основного производства предприятий РКП технологическим оборудованием и инструментом предприятий РКП на базе ФГУП «НПО «Техномаш» как головного предприятия Госкорпорации «Роскосмос» в области технологий необходимо создать отраслевой центр компетенции по оказанию услуг внедрения инновационных разработок по трансферу технологий («технологии под ключ») и сертификации оборудования и инструмента. Стратегической целью

создания центра компетенции (отраслевого инжинирингового центра) должно стать формирование специализированных научно-производственных компетенций, что даст возможность внутри отрасли управлять инструментальным обеспечением предприятий РКП и обеспечить полный жизненный цикл технологического оснащения производства для реализации задачи по импортозамещению для всех предприятий, а также на основании директивных документов Правительства Российской Федерации и Минпромторга России разработать Стратегию развития инструментальных производств предприятий РКП на среднесрочную и долгосрочную перспективу по обеспечению производства новых изделий боевой ракетной и ракетно-космической техники с ранее недостижимыми тактико-техническими характеристиками.

Библиографический список

- 1. Корогодский А.А., Акопов Г.А., Новиков П.П., Юрцев Е.С., Рахмилевич Е.Г. Инструмент для российского рынка. // РИТМ машиностроения. -2016, № 4.- С. 94-98.
- 2. План содействия импортозамещению в промышленности: распоряжение Правительства РФ от 30.09.2014 №936-р.
- 3. Об установлении запрета на допуск товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок товаров, работ (услуг) для нужд обороны страны и безопасности государства: постановление Правительства РФ от 14.01.2017 № 9.
- 4. Об отнесении продукции к промышленной продукции, не имеющей произведенных в Российской Федерации аналогов, и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации (с изменениями на 13.07.2019): постановление Правительства Российской Федерации от 20.09.2017 № 1135.
- 5. Самодуров Г.В., Лахтюхов Д.В. Станкоинструментальная отрасль России в 2019 году: цифры и факты // Станкоинструмент. -2020, № 2.- С. 12-18.
- 6. Сравнение финансового состояния фирмы с отраслевыми показателями и конкурентами [Электронный ресурс] // TestFirm.ru: [сайт]. URL: https://www.testfirm.ru/ (дата обращения: 01.10.2020).
- 7. Об утверждении порядка выдачи Министерством промышленности и торговли Российской Федерации разрешения на закупку происходящего из иностранного государства промышленного товара, положения об отраслевых экспертных советах при Министерстве промышленности и торговли Российской Федерации, порядка формирования и ведения реестра российской промышленной продукции, включая порядок предоставления выписки из него и ее форму, порядка формирования и ведения реестра евразийской промышленной продукции, включая порядок предоставления выписки из него и ее форму: приказ Минпромторга России от 29.05.2020 № 1755.
- 8. Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета производителям станкоинструментальной продукции в целях предоставления покупателям скидки при приобретении такой продукции: постановление Правительства РФ от 10.08.2020 № 1206.



- 9. Об авансировании договоров (государственных контрактов) о поставке промышленных товаров для государственных и муниципальных нужд, а также для нужд обороны страны и безопасности государства: постановление Правительства РФ от 26.08.2020 №1289.
- 10. Набор каталогов отечественных производителей инструмента [Электронный ресурс] // НПО Техномаш им. С.А. Афанасьева: [сайт]. URL: http://tmnpo.ru/node/487 (дата обращения: 28.09.2020).

Гриценко Юрий Александрович – главный специалист Центра технологического развития РКП ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8 (495) 689–74–37, доб. 23–49. E-mail: Y.Gricenko@tmnpo.ru

Новиков Павел Петрович – главный специалист Центра технологического развития РКП ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8 (495) 689–31–73, доб. 23–36. E-mail: P.Novikov@tmnpo.ru

Рахмилевич Евгений Георгиевич — заместитель директора Центра технологического развития РКП ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8 (495) 689–31–73, доб. 25–58. E-mail: E.Rahmilevich@tmnpo.ru

Gricenko Yurii Aleksandrovich – Principal Specialist of FSUE «NPO «Technomac» Technology Development Center of the Aerospace Industry. Tel.: 8 (495) 689–74–37, ext. 23–49. E-mail: Y.Gricenko@tmnpo.ru

Novikov Pavel Petrovich – Principal Specialist of FSUE «NPO «Technomac» Technology Development Center of the Aerospace Industry.
Tel.: 8 (495) 689–31–73, ext. 23–36. E-mail: P.Novikov@tmnpo.ru

Rakhmilevich Evegeniy Georgievich – Deputy Director of FSUE «NPO «Technomac» Technology Development Center of the Aerospace Industry. Tel.: 8 (495) 689–31–73, ext. 25–58. E-mail: E.Rahmilevich@tmnpo.ru





УДК 621.92: 621.6

Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С. Panteleev K.D., Rakhmilevich E.G., Yurtsev E.S.

Методология многокритериальной оценки и выбора наиболее приоритетных альтернатив фундаментальных исследований

Methodology for Multi-Criteria Assessment and Selection of the Highest Priority Alternatives of Fundamental Research

В контексте становления и развития методов управления вновь разрабатываемых и (или) модифицируемых сложных наукоёмких изделий ракетно-космической техники, претендующих на роль конкурентоспособных на мировом рынке высоких технологий, изделий, товаров и услуг, представлена методология формирования критерия предпочтения, ранжирования и многокритериального выбора наиболее приоритетных альтернатив фундаментальных исследований.

Nowadays, the role of the establishment and development of methods for performance indicators management of advanced knowledge-intensive aerospace products is especially important. This will make it possible to claim the role of high technologies, products, goods and services that are competitive in the world market. In this context, the methodology for criterion formation of preference, ranking and multi-criteria selection of the most priority alternatives of fundamental research is considered.

Ключевые слова: промышленные технологии, фундаментальные исследования, ракетно-космическая техника.

Keywords: Industrial technologies, fundamental research, aerospace hardware.

Введение

В рамках общесистемного подхода к внедрению системы опережающего технологически ориентированного проектирования и отработки новых изделий за счет развития критически важных и прорывных технологий важным фактором является развитие методов многокритериального отбора прорывных исследований на базе фундаментальных достижений науки [1, 2].

Процессы анализа и выбора наиболее приоритетных направлений развития промышленных технологий изготовления изделий ракетно-кос-

мической техники (РКТ) рассматриваются как неотъемлемая составляющая единой системы прогностических исследований по выявлению и комплексной оценке возможных (формирующихся) и существующих «прорывных» направлений научно-технологического развития космических систем на дальнесрочную перспективу. В данном контексте развитие методов, обеспечивающих формирование критериев предпочтения, ранжирование и выбор наиболее предпочтительной альтернативы, является важной научно-технической задачей.

Типовая методология формирования критерия предпочтения, ранжирования и выбора наиболее приоритетных альтернатив фундаментальных исследований

Выбор предпочтительных альтернатив направлений научно-технических исследований развития промышленных технологий в целях создания перспективных космических средств с

учетом отсутствия или значительной неполноты информации, как правило, является неструктурированной либо слабоструктурированной задачей вида [3, 4, 5]:



$$C(A\psi) \to \min, E(A\psi) \to \max,$$
 (1)

где: C — функция затрат на разработку внедрения промышленных технологий; E — функция эффективности альтернатив ($A\psi$).

На практике решение данной задачи большой размерности (1) обеспечивается при последовательном выполнении двух этапов: формирования комплексного критерия предпочтения и задания процедур выбора [3, 5].

На первом этапе формируется комплексный критерий выбора предпочтительных альтернатив из локальных критериев предпочтения — показателей, определяющих приоритеты направлений развития промышленных технологий, и на его основе выбирается перечень предпочтительных направлений развития.

На втором этапе из перечня предпочтительных альтернатив выбирается наиболее предпочтительный вариант по критерию минимума целевой функции затрат на разработку и внедрение промышленных технологий в целях создания перспективных изделий РКТ.

В общем случае комплексный критерий выбора предпочтительных альтернатив по ЖЦИ РКТ представляется в виде формулы (2):

$$M = F(M_{HUP}, M_{POOU}, M_{cn}, M_{9}, M_{y}, \Lambda), \tag{2}$$

где: $M_{\text{пир}}$, $M_{\text{роои}}$, $M_{\text{сп}}$, M_{9} , M_{y} — отдельные множества компонент комплексного критерия выбора предпочтительных альтернатив, по которым определяется приоритет альтернатив на стадиях НР, РДОИ, серийного производства, эксплуатации и утилизации; Λ — множество весов (приоритетов) компонентов критерия.

В контексте задачи создания перспективных изделий РКТ с показателями ТУ, существенно превышающими мировой уровень, наибольшей вес имеет множество компонента $M_{\it map}$.

Критерий M_{mp} обеспечивает управление процессами развития промышленных технологий в целях создания перспективных изделий РКТ через установление показателей стимулирования темпов развития, повышения технического уровня, качества и надежности КС. Критерии M_{poot}, M_{cn}, M обеспечивают управление процессами развития перспективных КС

с точки зрения возможностей производства и эксплуатации.

В представленной работе рассматривается порядок установления состава $M_{\text{мир}}$ как актуального при выявлении, анализе и выборе альтернатив фундаментальных исследований развития промышленных технологий в целях создания перспективных изделий РКТ. Критерий включает множество качественных характеристик $\{M_{\text{мир}}\}$, которые в совокупности определяют меру предпочтения каждой альтернативы $\mathrm{A}\psi$ из множества выявленных $\{\psi\}$.

В контексте прогнозных исследований стадии НИР ЖЦИ РКТ в состав критерия предпочтения целесообразно включить показатели перспективности (П) направлений фундаментальных исследований, гибкого реагирования (Р) и риска (R). С учетом этого модель критерия предпочтения имеет вид (3):

$$M_{map} = \sum_{1}^{3} (\Pi \lambda_{1.1}, P \lambda_{1.2}, R \lambda_{1.3}) \tag{3}$$

$$0 < \lambda_{ij} < 1, \sum_{1}^{3} \lambda_{ij} = 1 \tag{4}$$

где: П, Р, R – компоненты критерия предпочтения альтернатив на стадии НИР; λ_{ij} – вес компоненты критерия (4); ij – индексы компоненты критерия.

Оценка показателей перспективности П направлений фундаментальных исследований может быть определена относительно задаваемых концепций облика перспективных изделий РКТ в целом. Оценка показателей перспективности должна вестись в следующей последовательности:

формируются частные показатели перспективности $\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3)$. В число этих показателей целесообразно включить: Π_1 — существенно лучший базис параметров или определяющий параметр; Π_2 — возможность расширения применяемого функционала; Π_3 — возможность улучшения основных параметров (или определяющего параметра) на программный период;

определяется вес частного показателя перспективности λ_{iir} (5):

$$0 < \lambda_{ijr} < 1, \sum_{1}^{3} \lambda_{ijr} = 1,$$
 (5)



где: r – индекс частного показателя;

разрабатываются шкалы оценки частных по-казателей;

формируются оценки перспективности альтернатив А ψ :

$$\Pi = \sum_{1}^{3} \sum_{1}^{3} \Pi_{ijr} \lambda_{ijr} = 1.$$
 (6)

Оценка эффективности дается в баллах по следующим шкалам:

для $\Pi_{\rm l}$ — существенно лучший базис параметров или определяющий параметр;

для Π_2 — возможность расширения применяемого функционала;

для Π_3 – возможность улучшения основных параметров (или определяющего параметра) на программный период.

Формирование оценок гибкого реагирования целесообразно проводить в следующей последовательности:

формируются частные показатели компоненты критерия $P = (P_1, P_2, P_3)$, в число которых включаются: P_1 — возможность варьирования способами применения; P_2 — возможность реагирования на изменения системы объектов воздействия; P_3 — возможность расширения сфер использования;

определяется вес частных показателей (7):

$$0 < \lambda_{ijr} < 1, \sum_{1}^{3} \lambda_{ijr} = 1; \qquad (7)$$

разрабатываются шкалы относительной важности, которые выступают в виде шаблона оценки и представляют собой таблицу, в которой даны признаки и относительно каждого из них дается показатель веса. Пример приведен ниже (табл. 1). Данные экспертизы по вопросам оценки относительной важности, выполненные на основе шкал коэффициентов оценок, представляют собой совокупность оценок относительной важности (весов), данных каждым экспертом каждому из оцениваемых частных критериев. Далее производится обобщенная оценка совокупного мнения экспертов;

формируется оценка применимости альтернативы.

Оценку показателя риска альтернативы целесообразно проводить по (8):

$$R = \frac{t^*}{t_{\text{CO3II}}} \tag{8}$$

где: t^* — интервал времени, выходящий за пределы прогнозируемого интервала создания перспективного изделия РКТ t_{cord} .

После определения характеристик П, Р, R рассчитывается значение комплексного критерия предпочтения $M_{\it map}$ каждой альтернативы $A\psi$ из множества выявленных $\{A\psi\}$. Далее производится ранжирование альтернатив по компонентам критерия $M_{\it map}$ и формирование множества предпочтительных альтернатив $\{A\psi_{\it mp}\}$.

Таблица 1. Пример шкалы относительной важности

Условия	Коэффициент оценки
1. Наибольшая гибкость Альтернатива обеспечивает возможность широкого спектра направлений применения	10
2. Условная гибкость Альтернатива обеспечивает возможность широкого спектра направлений применения при условии частичных корректировок технологии	7
3. Стабильность Альтернатива обеспечивает возможность применения только в условиях, изначально заданных при разработке технологии	0



С учетом отсутствия или неполноты информации при выявлении, анализе и выборе альтернатив фундаментальных исследований развития промышленных технологий в целях создания перспективных изделий РКТ формирование критерия предпочтения $M_{\text{пир}}$ и определения характеристик Π , P, R целесообразно осуществлять с помощью экспертных методов [5,6,7].

Поскольку комплексный критерий предпочтения $M_{\text{пир}}$ представляет собой трехуровневую иерархическую систему частных (локальных) критериев предпочтения, то выбор предпочтительных альтернатив необходимо проводить последовательно относительно каждого уровня. На первом из общей выявленной совокупности альтернатив $\{A\psi\}$ выделяются три подмножества предпочтительных альтернатив $\{A\psi^{\text{n1}}_{\text{пр}}\}$, $\{A\psi^{\text{n2}}_{\text{пр}}\}$, $\{A\psi^{\text{n3}}_{\text{пр}}\}$ соответственно по каждому из частных критериев П1, П2, П3. Пересечение подмножеств определяет совокупность альтернатив, предпочтительных по локальному критерию П, как представлено в (9):

$${A^{\Pi_1}\psi_{np}} \cap {A^{\Pi_2}\psi_{np}} \cap {A^{\Pi_3}\psi_{np}} \to \cap {A^{\Pi}\psi_{np}}.$$
 (9)

На втором уровне из совокупности альтернатив, предпочтительных по локальному критерию Π , в аналогичной последовательности выделяется подмножество альтернатив, предпочтительных по критериям Π , $P-\{A\psi_{np}^{-np}\}$.

На третьем уровне из подмножества $\{A\psi_{np}^{np}\}$ аналогичным образом формируется совокупность альтернатив $\{A\psi M_{\mu\nu}^{np}\}$, предпочтительных по всем локальным критериям Π , P, R, τ .е. по комплексному критерию предпочтения $M_{\mu\nu}$.

В качестве методического обеспечения процедур выбора предпочтительных альтернатив среди множества методов решения многокритериальных задач наиболее удобной и достаточной представляется группа методов «порогов несравнимости», являющихся объектно-независимыми и позволяющими проводить итеративное сравнение и выбор альтернатив с учетом различных шкал оценки и весов критериев [2, 6, 8, 9]. На основе группы методов «порогов несравнимости» во ФГУП «НПО «Техномаш» в 1989 году разработана программа «Электра», обеспечивающая многокритериальный выбор

альтернативных технологий отработки опытных образцов изделий РКТ [1].

Алгоритм программы предусматривает для совокупности сравниваемых альтернатив $\{A\psi\}$, Π , P, R — множества критериев сравнения, γ і $(A\psi)$ — некоторых оценок альтернатив $A\psi$ по і-му критерию разбиение множества имеющихся критериев применительно к каждой сравниваемой паре альтернатив $A\psi$, $A\psi' \in \{A\psi\}$ на два противоположных класса.

К первому классу С (А ψ , А ψ ') относятся все критерии, для которых γ i (А ψ) $\geq \gamma$ i (А ψ '). Остальные критерии, согласно которым имеет место обратное отношение γ i (А ψ) $\leq \gamma$ i (А ψ '), образуют второй класс D (А ψ , А ψ ').

Превосходство А ψ над А ψ ′ основывается на гипотезе сравнительной важности критериев, допускающей, что меру относительной важности критериев можно выразить с помощью весовых коэффициентов Сi, i= 1......n, которые могут быть действительными положительными числами и устанавливаются экспертным путем.

О большем или меньшем «согласии» по различным критериям в пользу отношения «превосходства» $A\psi$ над $A\psi'$ можно судить по значению индекса согласия с $(A\psi, A\psi')$ вида (10):

$$c(A_{\Psi}, A_{\Psi'}) = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^{n} c_{i}$$
, (10)

где
$$c_i \in c(A_{\psi}, A_{\psi'}), C = \sum_{i=1}^n c_i$$
.

Для оценки «несогласия» на основании пар [γ i ($A\psi$), γ i ($A\psi$)], $i \in D$ ($A\psi$, $A\psi$) алгоритм предусматривает использование гипотезы о наличии отношения, позволяющего сравнить любую пару различающихся оценок, взятых по какой-либо шкале Ki, с любой другой парой различающихся оценок, взятых по шкале Kj, для произвольного $i,j=1,\ldots n$.

В соответствии с данной гипотезой вводится индекс несогласия:

$$d(A_{\Psi}, A_{\Psi'}) = \begin{cases} 0, ecnu & D(A_{\Psi}, A_{\Psi'}) = \emptyset \\ \frac{1}{d} \max \mid \gamma_i(A_{\Psi}) - \gamma_i(A_{\Psi'}) \mid, \end{cases}$$
(11)

если
$$D(A_{\Psi}, A_{\Psi'}) \neq \emptyset, i \in d(A_{\Psi}, A_{\Psi'})$$



где: d – максимальное из возможных отклонений между крайними значениями оценок по каждой из шкал.

Для строгого определения отношения превосходства вводятся в рассмотрение два числа, расположенные между 0 и 1. Одно из них, р, принимается близким к 1, а второе, q, относительно близким к 0. Воспользовавшись числами р и q, которые называются пороговыми значениями индексов согласия и несогласия, можно утверждать, что альтернатива Ау превосходит альтернативу Ау тогда и только тогда, когда для рассматриваемой пары:

- индекс согласия не меньше р, т.е. совокупность критериев (с учетом их относительной важности), по которым объект е по крайней мере не хуже объекта е', достаточно представительна;
- индекс несогласия не превосходит q,
 т.е. оценки по остальным критериям не дают

достаточных оснований для отказа от предположения о превосходстве е над е'.

На основе определения отношения превосходства разработан аппарат последовательного исключения менее предпочтительных объектов, который использован в работе при выборе наиболее согласованной из предпочтительных альтернатив совокупности $\{A\psi M_{\text{нир}}^{\text{пр}}\}[2,9,10]$.

Для предпочтительных альтернатив совокупности $\{A\psi M_{\text{нир}}^{\text{пр}}\}$ оценивается прогнозное значение C – целевой функции затрат на разработку и внедрение промышленных технологий, и по критерию $C(A\psi)$ min производится выбор наиболее предпочтительной альтернативы $A\psi^*$ пр. Оценку прогнозных значений целевой функции затрат C также следует осуществлять экспертным путем с помощью соответствующих данных направлений развития изделий РКТ методик [8].

Выводы

Изложенная методология позволяет создать программный инструментарий формирования приоритетов направлений фундаментальных исследований опережающего комплексного развития промышленных технологий создания перспективных изделий РКТ, объективной

оценки вариантов направлений фундаментальных исследований при рассмотрении большого числа критериев, автоматизации процесса выбора предпочтительных альтернатив при большом числе альтернативных вариантов, формализовать решение «интуитивных» задач.

Библиографический список

- 1. Денисов А.В. Выбор технологических процессов на ранних стадиях проектирования изделий при многокритериальной оценке вариантов// Тезисы доклада Проектирование систем ракетного и артиллерийского вооружения. М.: МВТУ. 1987. С.33–34.
- 2. Растригин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. М.: Сов. радио, 1980. 232 с.
- 3. Рабочая книга по прогнозированию/ Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.) М.: Мысль, $1982.-430~\mathrm{c}.$
- 4. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения экспертных оценок. М.: Ленанд, 2015. 352 с.
- 5. Соломонов Ю.С., Шахтарин В.К. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность. М.: Машиностроение, 2003. 368 с.: ил.
- 6. Мишин В.М. Исследование систем управления: Учебное пособие. М.: Юнити-Дана, 2007. 527 с.: ил.
- 7. Основы синтеза систем летательных аппаратов: Учебник/А.А. Лебедев, Аджимамудов, В.Н. Баранов, В.Т. Бобронников др.; под ред. А.А. Лебедева. М.: МАИ, 1996. 444 с.: ил.
- 8. Бендиков М.А. Стратегическое планирование развития наукоемких технологий и производств (на примере космического машиностроения) М.: Academia, 2000. 304 с.



- 9. Матвеев Ю.А. Методы прогнозирования характеристик летательных аппаратов. М.: МАИ, 2004. 79 с.: ил.
- 10. Исаченко В.А. Методологические основы технологического обеспечения проектирования изделий ракетной техники: дис. д-р техн. наук: 05.07.04: защищена 27.05.1986: утв. 25.09.1986 / Исаченко Владимир Александрович. М., 1986. 383 с. Машинопись.

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.

Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Рахмилевич Евгений Георгиевич – заместитель директора центра РКП ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.

Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Rahmilevich@ tmnpo.ru

Юрцев Евгений Сергеевич – директор центра ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева. Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Rakhmilevich Evegeniy Georgievich – Deputy Director of Technology Development Center of the Aerospace Industry of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Rahmilevich@tmnpo.ru

Yurtsev Evegeniy Sergeevich – Center Director of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

 $Tel.: 8 (495) \ 689-95-26. \ E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru$





УДК 621.92: 621.6

Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С. Panteleev K.D., Yurcev E.S.

Автоматизированные контролирующие модули в системах обеспечения показателей технического уровня изделий ракетно-космической техники

Automated Monitoring Modules in Systems for Maintaining of the Technical Level **Indicators of Aerospace Products**

Отмечена важность управления наиболее значимыми показателями технического уровня перспективных систем ракетно-космической техники (РКТ). Установлена необходимость создания автоматизированных контролирующих модулей (АКМ) для эффективного обеспечения управления разработками перспективных систем РКТ и их производств. Предложены комплексный показатель надежности и формализация процесса функционирования АКМ. Показаны аналитическое выражение для показателя надежности АКМ и основные пути его повышения.

The importance of managing the most significant technical level indicators of the aerospace industry's promising systems is noted. The need for the Automated Monitoring Modules (AMM) creation for the effective management of the advanced systems development for the aerospace industry and their production is justified. For such AMMs, an integrated reliability indicator is proposed. The charting of the AMM process behavior is carried out. An analytical expression for the AMM reliability indicator is obtained and the main methods of increasing this indicator are shown.

Ключевые слова: промышленные технологии, проектный анализ, надежность, ракетно-космическая техника.

Keywords: industrial technologies, design analysis, reliability assessment, rocket and space engineering products.

Введение

Эффективное решение задач мониторинга и контроля за надежностью процесса управления показателями технического уровня изделий ракетно-космической техники (РКТ) обеспечивается за счет встроенных или автономных автоматизированных контролирующих модулей (АКМ). При этом АКМ должны иметь достаточно высокий уровень надежности. Формальные описания АКМ и типовые процедуры оценки их надежности могут быть идентифицированы и описаны посредством теоретически обоснованного и хорошо разработанного к настоящему времени математического аппарата теории массового обслуживания [1, 2]. На данной основе АКМ представляется в виде п параллельных трактов (каналов) контроля, по каждому из которых в некоторый текущий момент времени осуществляется фиксирование (непосредственное измерение, расчет по некоторому имитирующему алгоритму и т. д.) количественного признака (скалярного или векторного), по значению которого делается заключение о техническом состоянии самого АКМ и (или) значений показателя (показателей) технического уровня изделий РКТ.

В качестве одного из возможных комплексных показателей надежности функционирования АКМ можно принять вероятность Р того, что в момент времени t (случайный или неслучайный) контролирующий модуль готов принять заявку (требование) на контроль по данному тракту из п параллельных трактов и, при необходимости, выработать соответствующий сигнал.



При этом под трактом следует понимать конкретную функциональную задачу подсистемы управления показателями технического уровня изделий РКТ. Выработка сигнала может быть представлена в двух основных режимах. При первом режиме предполагается только фиксиро-

вание самого факта выполнения или невыполнения конкретной функциональной задачи подсистемы управления показателями технического уровня изделий РКТ, при втором — выполнение конкретного мероприятия по зафиксированному факту невыполнения задач.

Формализация комплексного показателя надежности АКМ

Постановка задачи формализации комплексного показателя надежности АКМ как подсистемы управления разработками перспективных систем РКТ и их производств достаточно подробна рассмотрена в [3, 4].

На практике имеют место два характерных цикла работы AKM по некоторому тракту, которые можно считать полной группой событий: нормальный и аварийный.

Нормальный цикл включает в себя следующие состояния: A_0 , A_1 , A_2 . Состояние A_0 характеризует нахождение в состоянии готовности определенного тракта АКМ к принятию требования на контроль в некоторый случайный момент времени. Состояние A_1 соответствует случаю, когда заявка АКМ после поступления команды на контроль принята, но контроль еще не начат. Наличие состояния A_1 связано с тем, что в автоматизированных системах, как правило, предполагается наличие обегающего контроля технического состояния управляющих трактов. A_2 — это состояние контроля только по тому тракту, по которому поступает или может поступить заявка на контроль.

Аварийный цикл включает в себя два состояния: A_3 и A_4 . A_3 — состояние ожидания ремонта, которое характеризуется промежутком времени с момента отказа в работе АКМ до момента обнаружения его обслуживающим персоналом или какимлибо автоматическим устройством. Состояние A_3 сменяется состоянием самого ремонта A_4 . В состояние A_3 АКМ может перейти из любого состояния A_4 , A_1 , A_2 , а из состояния A_4 — в состояние A_3 .

Анализ работы АКМ в нормальном и аварийном режимах тесно связан с процедурой контроля за возможными возникновениями аномальных процессов в самих АКМ при их функционировании, которые рассматриваются как процессы массового обслуживания.

Входной поток требований на контроль по данному тракту обычно представляется как

простейший. При этом вероятность P, что в течение промежутка времени т, начинающегося с некоторого момента времени, принятого за начало отсчета, не появится ни одного требования, определяется следующим выражением:

$$P = sep\{\tau_n > \tau\} = e^{-\lambda_1 \tau}, \tag{1}$$

где λ_1 — среднее количество требований в единицу времени.

Появившееся требование на контроль по данному тракту обнаруживается системой обегающего контроля спустя некоторое время после его появления. Этот промежуток времени является случайной величиной. В работах по теории массового обслуживания [1,2,5] его принято считать распределенным по показательному закону с параметром μ_1 :

$$P = sep\{\tau_1 > \tau\} = e^{-\mu_1 \tau}, \tag{2}$$

где $\mu_1 = 1/M(\tau_1)$; $M(\tau_1)$ – среднее значение промежутка времени τ_1 , начиная с момента появления требования на контроль по данному тракту до момента обнаружения этого требования системой обегающего контроля.

Время контроля по данному тракту также является случайной величиной с показательным законом распределения:

$$P = eep\{\tau_1 > \tau\} = e^{-\mu_2 \tau}, \qquad (3)$$

где $\mu_2 = 1/M(\tau_2)$; $M(\tau_2)$ — среднее время контроля по данному тракту.

Поток отказов АКМ с удовлетворительной точностью можно описать показательным законом распределения:

$$P = sep\{\tau_0 > \tau\} = e^{-\lambda_2 \tau}, \tag{4}$$

где λ_2 — среднее количество отказов в единицу времени.



Показательные законы распределения могут быть также приняты для промежутка времени τ_3 с момента отказа АКМ до момента обнаружения этого отказа и для времени τ_4 устранения обнаруженной неисправности АКМ. Тогда:

$$P = sep\{\tau_3 > \tau\} = e^{-\mu_3 \tau},$$

$$P = sep\{\tau_4 > \tau\} = e^{-\mu_4 \tau},$$
(5)

где $\mu_3=1/\mathrm{M}(\tau_3);$ $\mu_4=1/\mathrm{M}(\tau_4);$ $\mathrm{M}(\tau_3),$ $\mathrm{M}(\tau_4)$ – средние значения промежутков времени τ_3 и τ_4 , соответственно.

Выражения вероятностей P_0 , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 состояний A_0 , A_1 , A_2 , A_3 и A_4 составляются через дифференциальные уравнения с учетом взаимосвязанности процессов массового обслуживания в обоих циклах, описывающие оба цикла одновременно, и имеют вид:

$$P_{0} = (1 + \lambda_{2}/\mu_{3} + \lambda_{2}/\mu_{4})^{-1} \times (1 + \lambda_{1}/\mu_{1} + \lambda_{1}/\mu_{2})^{-1};$$

$$P_{1} = [1/(\mu_{1} + \lambda_{2})] \times P_{0};$$

$$P_{2} = [\mu_{1}\lambda_{1}/(\mu_{1} + \lambda_{2})(\mu_{2} + \lambda_{2})] \times P_{0};$$

$$P_{3} = (\lambda_{2}/\mu_{2})[1 + \lambda_{1}/(\lambda_{1} + \mu_{2}) + \mu_{1}\lambda_{1}/(\mu_{1} + \lambda_{2})(\mu_{2} + \lambda_{2})] \times P_{0};$$

$$P_{4} = (\lambda_{2}/\mu_{4})[1 + \lambda_{1}/(\mu_{1} + \lambda_{2}) + \mu_{1}\lambda_{1}/(\mu_{1} + \lambda_{2})(\mu_{2} + \lambda_{2})] \times P_{0}.$$
(6)

Нормальный и аварийный циклы работы АКМ в формуле P_0 представлены отдельными сомножителями как коэффициенты готовности комплексного показателя его надежности по нормальному и аварийному циклам, что дает возможность использовать их в качестве критериев оценки эффективности работы АКМ.

Вероятность P_0 представляется в виде:

$$P_0 = K_{\Gamma}^{\scriptscriptstyle H} \cdot K_{\Gamma}^{\scriptscriptstyle a}, \tag{7}$$

где
$$K_{\Gamma}^{H} = (1 + \lambda_{1}/\mu_{1} + \lambda_{1}/\mu_{2})^{-1};$$

 $K_{\Gamma}^{a} = (1 + \lambda_{2}/\mu_{3} + \lambda_{2}/\mu_{4})^{-1}.$

Коэффициент готовности K_{Γ}^{n} по нормальному циклу работы АКМ в формуле P_{0} характеризует быстродействие обегающего контроля, а также среднюю длительность процессов по различным трактам. Из выражений P_{0}, P_{1}, P_{2} видно, что другой показатель надежности работы АКМ, определяемый как вероятность того, что контролирующий модуль находится в нормальном режиме работы, равен коэффициенту готовности K_{Γ}^{a} по аварийному циклу.

$$P_{\rm H} = P_0 + P_1 + P_2 = (1 + \lambda_2/\mu_3 + \lambda_2/\mu_4)^{-1} = K_{\rm F}^a$$
. (8)

Тогда вероятность того, что АКМ находится в неисправном состоянии:

$$P_a = P_3 + P_4 = 1 - K_r^a. (9)$$

Синтез АКМ в системах обеспечения показателей технического уровня изделий РКТ по критерию повышения надёжности

Посредством комплексного показателя надёжности АКМ при формировании автоматизированных контролирующих систем возможно наметить основные требования и пути повышения их надежности.

При этом численные значения коэффициентов готовности $K_r^{\ \ \mu}$ и $K_r^{\ \ a}$ должны иметь максимально высокие возможные значения и определяться применительно к конкретным элементам контролируемых объектов по критериям эффективности. Из анализа (7) следует, что коэффициент готовности $K_r^{\ \ a}$ АКМ по аварийному циклу увеличивается с увеличением параметров μ_3 и μ_4 при постоянном зна-

чении λ_2 . Существенного увеличения параметров μ_3 и μ_4 можно достичь за счет введения дополнительных устройств (например, аппаратной защиты). Однако это может привести к некоторому увеличению потоков отказов λ_2 . В данных условиях необходим поиск компромиссного решения задачи. В АКМ имеется принципиальная возможность улучшения параметра μ_3 за счет увеличения частоты периодичности тестовых программ путем введения дополнительных логических способов контроля работы встроенных комплектующих устройств контролирующих модулей, но это может привести к уменьшению коэффициента



готовности АКМ по нормальному циклу К н за счет уменьшения значения параметра μ_2 с увеличением времени, затрачиваемого в процессе нормальной работы АКМ на тестовый и логический контроль. В этом случае необходимо также рассматривать компромиссное решение задачи при определении необходимого значения параметра μ_3 . Увеличение параметра $\mu_{\scriptscriptstyle A}$ можно достичь путем введения дополнительного диагностического контроля комплектующих устройств АКМ, назначением на обслуживание контролирующих модулей высококвалифицированных операторов, предусмотрев при создании АКМ быструю и рациональную замену отказывающих устройств в виде, например, отдельных блоков, что уже практикуется в радиотехнических и электронных устройствах.

Аналогический анализ можно провести для коэффициентов готовности АКМ по нормальному циклу К, , рассмотрев рекомендации для параметров λ_1, μ_1, μ_2 .

Вопросы применения типового системного подхода к синтезу АКМ как неотъемлемой составляющей производственной системы рассмотрены в [6,7,8].

Задача формирования системы АКМ при разработке или модернизации изделия для обеспечения эффективного контроля заданных допусков $\Delta_{_{3 \mathrm{3} \mathrm{II}}}$ определяющих параметров изделий РКТ имеет вид:

$$\min C_{a\kappa M}(\widetilde{A}_{T}(\widetilde{\Pi}_{T}), P_{0}, \Delta, \tau), \tag{10}$$

где C_{akm} — показатель себестоимости формирования AKM; $(A_T(\Pi_T) - кластер конструкторско-тех$ нологических решений; Π_T – кластер производственно-технологических факторов изготовления изделий; $P_0 = K_r^{^H} \cdot K_r^{^a} \ge P_{0 \text{ зад}} - \text{комплексный по-казатель надежности; } \Delta \le \Delta_{\text{зад}} - \text{вектор допусков;}$ $K_r^H \le K_r^H$ зад; $K_r^a \le K_r^a$ зад; $\tau \le \tau$ зад — цикл контрольных мероприятий изготовления изделия.

На первом уровне для корректировки и декомпозиции задачи проводится исследование влияния производственно-технологических факторов Π_T на вектор допусков отклонений определяющих параметров изделий РКТ Δ .

Для этого в качестве целевых функций зависимости от производственно-технологических факторов $\Delta = f(\Pi_T)$ используются модели технологической наследственности, рассмотренные в [4].

Исследование моделей Δ позволяет выявить перечень факторов Π_T ' из Π_T , которые вносят наибольший вклад в разброс целевых функций Δ , т.е. перечень корректировок конструкторско-технологических решений по изготовлению изделий РКТ.

Таким образом, задача формирования АКМ, изготовления или модернизации изделия РКТ, исследование моделей допусков Δ сводится к задаче по корректировке АКМ по конкретным корректировкам конструкторско-технологических решений $A_T(\Pi_T)$.

На втором уровне на кластере конструкторско-технологических решений A_T (Π_T) осуществлен синтез альтернатив (АКМ іј):

$$\{\widetilde{Q}_{ij}\}$$
 $\xrightarrow{A'_{\tau}(\Pi'_{\tau})} \{R_{ij} = (AKM_{ij})\},$ (11)

где $\{\widetilde{Q}_{ij}\}$ — кластер целей формирования АКМ для A_T (Π_T).

Согласование и выбор наиболее рациональных вариантов из синтезированных (AKM_{ij}) осуществляются по критериям оценки, разработанным специалистами предприятия для группы соответствующих проектных задач:

$$\{R_{ij}\} \xrightarrow{\{\widetilde{\theta}_{ij}\}} \{R^*_{ij} = (AKM_{ij})^*\}, \qquad (12)$$

где $\{\widetilde{\theta}_{ij}\}$ – кластер функций точностных характеристик, наличия остаточных деформаций, наличия специальных СТО, производительности, затрат на отработку технологии, стоимости оборудования, экологической чистоты, возможности переработки отходов, доли ручного труда, возможности обработки других материалов, энергоемкости процесса и т.д.

Окончательный выбор оптимального АКМ осуществляется по стоимостному критерию $\min C_{akm}$.



Библиографический список

- 1. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. М.: Сов. радио. 1971. 520 с.
- 2. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т./ Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности/ Под ред. Б. В. Гнеденко. М.: Машиностроение. 1987. 280с.
- 3. Апполонов И. В., Дадашев М. Н., Кухаренко А. А., Хариев Н. И. К вопросу об управлении созданием конкурентоспособной техники и технологии в России в ближайшей перспективе XXI века// М.: ВИМИ. 2006. № 3. С. 3–13.
- 4. Апполонов И. В., Саввушкина Н. Е., Сапрунов Г. С., Хариев Н. И. Основные вопросы построения автоматизированной подсистемы управления важнейшими технико-экономическими показателями создаваемой сложной наукоемкой продукции в условиях функционирования интегрированных АСУ и САПР// М.: ВИМИ. − 2009. № 2. − С. 16−29.
- 5. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Кнорус. 2018. 192 с.
- 6. Денисов А.В. Выбор технологических процессов на ранних стадиях проектирования изделий при многокритериальной оценке вариантов// Тезисы докл. Проектирование систем ракетного и артиллерийского вооружения. М.: МВТУ. 1987. С. 33—34.
- 7. Пантелеев К.Д. Интегративно-декомпозиционный подход к формированию производственных систем на ранних стадиях жизненного цикла изделий ракетно-космической техники // Вестник машиностроения. -2008. №5. С. 77-81.
- 8. Пантелеев К.Д. Типовая методика формирования производственных систем // Вестник машиностроения. -2008. №6. С. 76–81.

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Юрцев Евгений Сергеевич — Директор ЦТР РКП ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Researcher of FSUE «NPO «Technomash» named after S.A. Afanasyev».. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Yurtsev Evegeniy Sergeevich – Director of Technology Development Center of the Aerospace Industry of FSUE «NPO «Technomash» named after S.A. Afanasyev». Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru



УДК 621.92: 621.6

Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С. Panteleev K.D., Yurtsev E.S.

Вопросы информационного обеспечения задач проектного анализа и оценки надежности перспективных систем РКТ

Automated Monitoring Modules in Systems for Maintaining of the Technical Level Indicators of the Aerospace Products

В контексте становления и развития методов управления вновь разрабатываемых и (или) модифицируемых сложных наукоемких изделий ракетно-космической техники, претендующих на роль конкурентоспособных на мировом рынке высоких технологий, изделий, товаров и услуг, представлена методология информационного обеспечения задач проектного анализа и оценки надежности перспективных систем.

The importance of managing the most significant technical level indicators of the advanced aerospace systems is highlighted. The need for the Automated Monitoring Modules (AMM) engineering for the effective management for the development of advanced aerospace systems and their production is defined. The comprehensive indicator and AMM process behavior charting are proposed. An analytical expression for the AMM reliability indicator and the main methods for the increasing of this indicator are shown.

Ключевые слова: промышленные технологии, проектный анализ, надежность, ракетнокосмическая техника.

Keywords: Industrial technologies, project analysis, reliability, aerospace hardware.

Введение

В рамках общесистемного подхода к разработке в ракетно-космической промышленности (РКП) новых эффективных научно-методологических концепций по управлению процессами проектирования, экспериментальной отработки и постановки на производство перспективных систем ракетно-космической техники (РКТ) с конкурентными значениями (не ниже мирового уровня и/или превышающие мировой уровень) показателей качества и надежности важное значение имеет совершенствование информационного обеспечения задач проектного анализа и оценки данных показателей [1, 2, 3, 4]. В контексте повышения эффективности информационного обеспечения задач управления процессами разработки и производства систем РКТ в условиях недостаточности информации на ранних стадиях жизненного цикла изделий (ЖЦИ) РКТ развитие методов, обеспечивающих формирование типовой модели предметной области (ПО) проектного анализа и оценки показателей надежности систем РКТ на базе принципа единства структуры описаний проектных решений, является важной научно-технической задачей.

Фасетно-иерархический подход и обобщенная модель предметной области проектного анализа и оценки показателей надежности систем РКТ

В настоящее время на уровне высшего руководства Госкорпорации «Роскосмос», руководителей ведущих наукоемких предприятий

РКП проводится системная политика по разработке в отрасли новой инновационной научнометодологической концепции по управлению



процессами проектирования, экспериментальной отработки и постановки на производство новых сложных систем РКТ с конкурентными значениями (не ниже мирового уровня и/или превышающие мировой уровень) показателей качества и надежности.

Создание и применение методов и средств формирования надежных производственных систем (ПС) в контексте создания и обеспечения выпуска конкурентоспособных конструкторско-технологических решений изделий РКТ на настоящем этапе развития тесно связаны с широким использованием информационных технологий.

В современных условиях их применение на предприятиях РКП развивается ускоренными темпами, однако недостаточно системно, фрагментарно и не обеспечивает получение и обработку информации в едином формате и логике.

Необходимость разработки единого подхода к информационному обеспечению задач управления процессами разработки и производства систем РКТ в рамках ЖЦИ РКТ и типовой модели ПО формирования систем РКТ на базе принципа единства структуры описаний проектных решений показаны в [2, 3, 4, 5].

Согласно практике создания ПО экспертных систем [7, 8, 9, 10, 11, 12] разработка единой модели ПО экспертной системы формирования ПС подразделяется на две стадии:

- разработка концептуальной схемы (КС)
 ПО;
- разработка алгебраической системы, обеспечивающей реализацию КС в виде базы данных и базы знаний на ЭВМ.

КС ПО представляет собой математическую модель, включающую некоторое фиксированное множество базовых категорий, отражающих содержание объектов ПО, а также совокупность определенных на данном множестве отношений, выражающих устойчивые семантические связи между объектами ПО, и операций, предназначенных для задания новых категорий в случае изменения содержания ПО [7, 9, 12].

В [1, 3, 5, 6] представлена типовая фасетно-иерархическая модель ПО формирования систем ПС РКТ как упорядоченная система описаний проектных задач, целей и критериев предпочтения, управленческих решений и пр., базирующаяся на понятии «фасет», под которым понимается базовая категория, объединяющая описания объектов ПО.

Структура модели ПО изоморфна типовой иерархии процесса формирования систем ПС РКТ и представляет собой иерархию, включающую следующие эпистемологические уровни:

7 уровень — знания задач формирования ПС;

6 уровень — знания акторов, т.е. субъектов процесса управления ЖЦИ РКТ, формирующих и реализующих управленческие решения по организационному и производственно-технологическому обеспечению основных (технологических), обслуживающих и вспомогательных процессов в проектирования и постановке на производство изделий РКТ;

- 5 уровень знания целей акторов;
- 4 уровень знания параметров формирования изделий и ПС РКТ;
- 3 уровень знания критериев предпочтения акторов;
- 2 уровень знания организационных решений акторов;
- 1 уровень данные о состоянии объектов ПО (исходная система).

Исходная система определяется через некоторое счетное множество N атрибутов описаний объектов ПО, множество V значений атрибутов, заданных на множестве объектов ПО α , множества потенциальных состояний каждого атрибута (A) \subseteq V, A \in N, и некий способ описания смысла этих состояний в терминах проявления соответствующих атрибутов данного объекта.

В качестве концептуальной модели исходной системы представляется «словарь» системы V, в котором задаются фасеты с областью определения, имеющий вид многоуровневой иерархической системы $S_K = (\tau, Rv)$, где τ множество фасетов (словарь), Rv – иерархические отношения фасетов.

Последующие эпистемологические уровни представляют собой иерархически упорядоченные системы знаний о характеристиках



отношений фасетов на соответствующих уровнях иерархии процесса формирования систем РКТ. Типовая модель каждого из 2, 3, 4, 5 уровней представляется отображением вида: R_{wi} : $\tau i \to \tau j \dots \tau m$, $j, m = 0, \dots n$.

Это отображение ставит в соответствие каждому фасету словаря т некоторое упорядоченное (может быть и пустое) множество фасетов словаря.

Упорядоченное множество фасетов словаря $\tau_j...\tau_m$ определяется как цепочка декомпозиции, определенная на фасете τi . Очевидно, что отображение Rwi включает в себя отношения иерархической соподчиненности фасетов Rvi, где i — номер иерархического уровня и, кроме того, содержит информацию о линейном порядке фасетов в цепочках декомпозиции.

Таким образом, множество цепочек декомпозиции $Rw = \{Rwi\}$ и словарь τ представляют собой базу знаний структурной декомпозиции $\Pi C: S_{\pi} = \{Rw, \tau\}.$

Соответственно, с учетом изложенного типовая модель ПО формирования ПС РКТ имеет вид: $S = \{S\kappa, S\pi\}$.

Алгебраическая интерпретация фасетно-иерархической модели ПО формирования ПС РКТ с учетом требований по цифровизации обеспечивается посредством аппарата структурно-параметрического моделирования (СПМ), представленного в [14].

Посредством аппарата СПМ модель ПО формирования ПС РКТ представляется комбинацией четырнадцати структур, построенных на трех базовых множествах:

$$S(A) = (A, F, N, R_{1,2,3}^{A}, R_{1,2,3}^{N}, R^{F}, R^{AF}, R_{1,2}^{AN}, R^{FN}) = (S\kappa(A), S_{A}(A)),$$
(1)

где $A = \{a_1, ..., a_n\}$ — множество элементов моделируемого объекта; $F = \{f_1, ..., f_m\}$ — множество контуров (свойств) элементов; $N = \{n_1, ..., n_l\}$ — множество параметров элементов; R — отношения, определенные на множествах элементов, их свойствах и параметрическом множестве.

Модель базы данных имеет вид $S\kappa(A) = (A, F, N, R_{1,2}^A, R^{AF}, R_1^{AN})$. Элемент $f_i \in F$ имеет зависимый характер, т.е. его значение может

быть определено только при сопоставлении с элементом a после того, как будет определено отношение принадлежности вида $R^F = T(a, F_a)$, где T — таблица отношений, F_a — подмножество F ($F_a \subset F$). Среди параметров выделяется множество параметров объекта N и множество параметров N_a составных частей объекта, т.е. должно быть определено отношение принадлежности $R^{AN} = T(a, N_a)$.

Идентификация фасетов (базовых элементов) информационной модели ПО задается тройкой признаков вида A=(КОД, ИМЯ, ТИП):

- «КОД» признак формы (уникальный топологический признак) элемента;
- «ИМЯ» признак функционального назначения;
- «ТИП» признак уровня абстрагирования элемента (например: сборочная единица, деталь, конструктивный элемент, примитив).

Значения собственных (персональных) параметров N_a каждого элемента конкретизируют содержание признака формы либо определяют дополнительные, например функциональные характеристики элемента.

Связи, отражающие конструктивную либо функциональную иерархию объекта, определяются отношением:

$$R_1^A = G_1(A, C_1), (2)$$

где G_1 – граф вида «дерево», C_1 – множество ребер, отражающих связи между элементами A.

Функциональные взаимосвязи элементов задаются отношением вида:

$$R_2^A = G_2(A, C_2),$$
 (3)

где $G_{\scriptscriptstyle 2}$ — взвешенный ориентированный граф без циклов, $C_{\scriptscriptstyle 2}$ — множество дуг.

Типовая модель базы знаний структурной декомпозиции ПС имеет вид:

$$S_{A}(A) = (A, F, N, R_{1,2,3}^{N}, R^{F}, R^{AF}, R_{1}^{AN}, R^{FN}).$$
 (4)

СПМ позволяет строить гибкую систему структурной декомпозиции ПО формирования ПС РКТ, способную управлять параметризацией объектов ПО как через воспроизводство



структурных связей (внешнего облика) объектов, так и воспроизводство их функциональных возможностей.

Система параметризации объектов ПО формирования ПС РКТ включает совокупность параметров и четыре конструкции декомпозиции, позволяющие управлять значением собственных и унитарных параметров объектов, таких как:

1. Древовидная структура взаимосвязей параметров элементов различных уровней, представленная отношениями, определяющими иерархическую подчиненность параметров:

$$R_1^N = G_3(N, C_3) \tag{5}$$

где G_3 — несвязанный граф, объединяющий некоторое количество связанных структур вида «дерево», корнями которых могут быть параметры, принадлежащие элементам различных уровней иерархии; C_3 — множество дуг. 2. Отношения R_2^N между параметрами эле-

- 2. Отношения R_2^N между параметрами элемента, реализуемые аналитическими и таблично заданными зависимостями вида $R_2^N = \Phi(N)$.
- 3. Внешние процедуры ρ , обрабатывающие сложные алгоритмические взаимосвязи R_3^N между параметрами вида $R_3^N = \Psi(N)$.
- 4. Модель порождающей среды S(A) (аппарат структурной декомпозиции), задаваемая семейством типовых математических моделей структурного проектирования, формирующих следующие управляющие воздействия (цепочки декомпозиции):
- наследование свойств от элементов вышестоящих уровней;
 - изменение значений параметров;
- диалоговая корректировка структуры пользователем.

При формировании модели:

- выделяется набор контуров F, т.е. набор структурных свойств (признаков), которые будут управлять процессом принятия решения;
- определяется принадлежность контуров элементам;
- устанавливаются отношения, определяющие механизм наследования свойств от элементов вышестоящих уровней вида $R^F = G_4(F,C_4)$, где G_4 несвязанный граф, объединяющий неко-

торое количество связанных структур вида «дерево», корнями которых могут быть контуры; $C_{\scriptscriptstyle 4}$ – множество дуг.

Контуры могут объединяться в группы, образуя отношения вида $R^F = T(F_i)$, где F_i подмножество контуров, образующее группу. В каждой группе одновременно может быть реализован лишь один контур. В качестве условия существования контура задаются ограничения на нахождение значения параметра в некотором интервале $R^{FN} = T(f, n, BO, HO)$, где BO, HO верхнее и нижнее предельные отклонения.

Модель порождающей среды обеспечивает способ задания:

- отношений смежности и порядка между элементами модели S(A);
- отношений смежности и порядка элементов проектируемого объекта A_{ν} ;
- состава и количества элементов в различных вариантах A_{ν} .

Цепочки декомпозиции (порождения) задаются через отношение смежности R_3^A между элементами модели S(A) в виде связной модели графа $R_3^A = G_5(A, C_5)$, а если граф $G_5(A, C_5)$ не задан, то модель будет несвязной.

В зависимости от наличия отношений смежности и порядка между элементами проектного решения A_k все модели порождающей среды разделяются на сочетательные и упорядочивающие. Сочетательные модели $S_i^0(A)$ применяются в тех случаях, когда определяется только состав элементов проектируемого объекта, а упорядочивающие модели $S_i^-(A)$ — когда определяется и состав, и структурные отношения между элементами проектируемого объекта.

Таким образом, к настоящему времени сложилось научно-методическое и алгоритмическое обеспечение информационно-аналитического моделирования ПО формирования ПС РКТ по направлению «Цифровое производство изделий РКТ», причем общая структура данной модели является типовой и опирается на типовые описания конструктивно-технологического и производственного состава (иерархии) моделируемого объекта при сохранении общей целостности модели.

В типовой модели ПО формирования ПС РКТ следует выделить несколько модельных слоев:



- конструкторский: геометрическая информация, физико-механические характеристики, и т.д. обеспечивается методами геометрического и конструкторского моделирования: 3D, 2D, ... 3D-аннотации;
- функциональный: прочность, кинематическая и динамическая схемы, термодинамика, гидрогазодинамика, взаимодействие с внешней средой и т.д. определяется используемыми моделями: конечно-элементными, конечно-разностными и т.д.;
- технологический: сосредотачивает результаты решения задач технологического проектирования, такие как: содержание и технологические параметры процессов изго-
- товления (по преобразованию формы и физико-механических характеристик материалов, а также сборочных и испытательных процессов, состав средств оснащения (оборудование, инструмент, приспособления), технико-экономические характеристики (трудозатраты, циклы изготовления);
- производственный: реальные значения технологических характеристик; условия выполнения технологических процессов (конкретные исполнители, оборудование, инструмент и приспособления, их состояние); период выполнения процессов, состояние производственной системы и состояние окружающей среды; поток работ.

Выводы

1. Предложенные формализованные представления основных функций управления, входящих в процедуры планирования, контроля и регулирования, позволяют обеспечить выполнение типовых этапов в ходе управления конкретными показателями надежности ПС в условиях цифрового производства.

2. Предложенные единая типовая модель ПО и аппарат структурно-параметрического моделирования позволят обеспечить разработку типовой методики управления показателями надежности ПС и системы моделей цифрового производства изделий РКТ с представлением блоков типовых процедур и модели предметной области ПО с учетом требований по цифровизации.

Библиографический список

- 1. Денисов А.В. Выбор технологических процессов на ранних стадиях проектирования изделий при многокритериальной оценке вариантов // Проектирование систем ракетного и артиллерийского вооружения. М.: МВТУ, 1987. С. 33–34.
- 2. Денисов А.В. Подход к построению маршрутного технологического процесса на основе выбора технологического метода изготовления // Ускорение научно-технического прогресса в машиностроении. М.: Поиск, 1988. С. 25–26.
- 3. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения КТР / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. М.: ИИЕТ АН СССР, 1985. С. 24–28.
 - 4. Клир Д. Системология. М.: МИР, 1989. 350 с., ил.
- 5. Клыков Ю.И., Горьков Л.Н. Банки данных для принятия решений. М.: Сов. радио, $1980.-255~\rm c.$
 - 6. Ланкастер Ф. Информационно-поисковые системы. М.: Мир, 1972. –24 с., ил.
- 7. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. Изд. 2-е, доп., пер. с англ. под ред. Стогния A.A.-M.: Мир, 1980.-656 с.
- 8. Пантелеев К.Д. Структурная декомпозиция, синтез и многокритериальный выбор альтернатив при формировании производственных систем // Вестник машиностроения. 2008. №4. С. 81—84.
- 9. Пантелеев К.Д. Фасетно-иерархический подход и обобщенная модель предметной области формирования производственных систем // Вестник машиностроения. 2008. №7. С. 75–78.



- 10. Представление и использование знаний. Пер. с японского. Под ред. X. Уэно, M. Исудзука. M.: Мир, 1990. 260 с.
 - 11. Цаленко М.Ш. Моделирование семантики в базах данных. М.: Наука. 1989. 288 с.
- 12. Цырков А.В., Юрцев Е.С., Савинов Ю.И. Цифровые двойники в управлении предприятием // Вестник НПО Техномаш. 2019. № 9. С. 70–79.
- 13. Цырков А.В. Структурно-параметрический моделлер основа построения комплексных информационных моделей производственных систем. Информационные технологии в проектировании и производстве// НТЖ ВИМ. 2005. №1. С.51–58.
- 14. Экспертные системы. Принципы работы и примеры: Пер. с англ. А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс и др.// под ред. Р. Форсайта. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.: ил.

Пантелеев Константин Дмитриевич — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Юрцев Евгений Сергеевич — Директор ЦТР РКП ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Yurtsev Evegeniy Sergeevich – Director of Technology Development Center of the Aerospace Industry of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru



УДК 621.92: 621.6

Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С. Panteleev K.D., Yurtsev E.S.

Методы исследования и обеспечения стабильности технологических процессов при анализе показателей качества и надежности создаваемых изделий ракетно-космической техники

Methods for the Research and Assure Stability of Production Processes In the Analysis of Quality and Reliability Indicators of the Engineered Aerospace Products

Сформулирована общая постановка задачи к проблеме обеспечения стабильности значений показателей качества и надежности создаваемых изделий ракетно-космической техники. Показаны
классификация основных факторов, влияющих на стабильность параметров создаваемых изделий,
и возможность построения статистических моделей зависимости показателей изделий ракетно-космической техники от случайных факторов. Предложен методологический подход к задаче исследования и обеспечения стабильности значений показателей качества и надежности. Рассмотрена методика обеспечения стабильности технологических процессов на основе анализа и количественной
оценки интегральной точности изготовления изделий. Предложен метод исследования показателей
качества и надежности изделий ракетно-космической техники в условиях недостаточной стабильности технологических процессов.

The general objective statement to the assuring stability problem of quality indicators values and reliability of engineered aerospace products is formulated. The classification of main factors affecting the stability of the engineered aerospace products parameters and the possibility of designing statistical models of aerospace products parameters dependency on random factors are shown. The methodological approach to the objective of investigation and assuring stability of quality parameters values and reliability of engineered aerospace products is proposed. The strategy of assuring production processes stability on the basis of analysis and quantitative assessment of integral accuracy of products manufacturing is discussed. The method for quality indicators and reliability researching of aerospace products in conditions of insufficient stability of production processes is proposed.

Ключевые слова: стабильность технологических процессов, надежность, ракетно-космическая техника.

Keywords: processes stability, reliability, aerospace hardware.

Введение

Характерной особенностью отработки технологических процессов на этапе перехода к серийному производству изделий ракетно-космической техники (РКТ) являются различные отклонения точностей определяющих параметров от требований нормативно-технической документации.

Имеют место две основные группы производственно-технологических факторов, которые влияют на возникновение аномальных результатов наблюдений при проведении контрольных

испытаний изделий РКТ и отклонений определяющих их параметров.

Первая группа включает факторы неслучайного характера, связанные, как правило, с неполнотой технологической документации, неопределенностью порядка закрепления работ за исполнителями, различными нарушениями при их выполнении и т.д. Отклонения, обусловленные этими факторами, в основном, устраняются в процессе технологической подготовки серийного производства изделий РКТ.



40

Ко второй группе отнесены факторы, включающие в себя случайные естественные разбросы характеристик материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, параметров технологических процессов, средств технологического оснащения, режущего и мерительного инструмента, испытательного оборудования. Отклонения, обусловленные второй группой факторов, необходимо учитывать путем количественных исследований стабильности технологических процессов при анализе показателей качества и надежности создаваемых изделий РКТ.

Для обеспечения количественного исследования стабильности технологических процессов изготовления изделий РКТ в условиях освоения серийного производства необходима разработка общего методологического подхода и типовой методики оценки интегральной точности продукции РКТ, изготовленной в условиях недостаточной стабильности технологических процессов.

Общий методологический подход к оценке стабильности параметров и процессов

Общий методологический подход к количественной оценке стабильности технологических процессов изготовления изделий РКТ базируется на измерении отклонений фактической точности от заданной как по «мгновенному» рассеиванию параметров и характеристик изделий, так и по интегральному за некоторый промежуток времени, по которому судят о стабильности технологических процессов и показателей качества и надежности изделий РКТ.

Вопросы мгновенной оценки стабильности технологических процессов разработаны в период 60-90-х годов XX века [1]. Вопросы интегральной оценки стабильности технологических процессов недостаточно исследованы. Поэтому для полноценного анализа показателей качества и надежности изделий РКТ необходимо решение проблемы количественной оценки стабильности технологических процессов. Положения общего методологического подхода к оценке стабильности параметров изделий РКТ и технологических процессов их изготовления подробно изложены в [2, 3, 4].

В рамках подхода при анализе точности изготовления изделий на временном интервале $t_0 \le t \le t_1$ стабильность технологического процесса рассматривается как некоторая кривая траектория, для исследования изменений которой определяется расстояние между кривыми траекториями заданной $\Delta = \phi(t)$ и фактической $\Delta_1 = \phi_1(t)$ точности параметров изделий РКТ и технологических процессов их изготовления.

Расстояние нулевого порядка между кривыми траекториями задается выражением вида $L^0 = \max |\phi_0(t) - \phi_1(t)|$ на отрезке $[t_0, t_1]$ и служит для оценки линейных отклонений точности технологических процессов.

Расстояние первого порядка $L^{(1)} = \max$ $|\phi_{_{0}}^{_{_{0}}(1)}\left(t\right)\!\!-\!\!\phi_{_{1}}^{_{_{(1)}}}\left(t\right)\!|$ на отрезке $[t_{_{0}},\;t_{_{1}}]$ служит для оценки угловых отклонений фактических точностей технологических процессов, поскольку отражает максимальное значение абсолютной величины разности производных первого порядка и рассматривается как мера, характеризующая максимальную разность направлений траекторий $\Delta = \varphi_0(t)$, $\Delta_1 = \varphi_1(t)$ в некоторой точке t_1 на отрезке $[t_2, t_1]$.

На основании расстояний нулевого и первого порядка можно сделать интегральную оценку точности как количественную меру стабильности исследуемого технологического процесса.

Расстояние первого порядка между траекториями Δ_0 и Δ_1 на интервале $[t_0, t_1]$ особенно важно при оценке структуры колебаний характеристик технологического процесса с ярко выраженными высокочастотными гармониками с малой амплитудой. Эти гармоники обычно не дают существенных линейных отклонений точности целых классов технологических процессов, но могут приводить к существенным угловым отклонениям их фактических точностей. В таких случаях расстояния нулевого порядка малы, и ими можно пренебречь при исследовании точностей технологических процессов, в то время как расстояния первого порядка могут отражать существенные угловые отклонения.



В общем случае измерения точности технологических процессов для исследования их стабильности необходимо проводить через некоторые оптимальные промежутки времени, что обеспечивает более качественный анализ показателей качества и надежности осваиваемых в производстве изделий РКТ. Выбор оптимальных промежутков времени представляет собой отдельную задачу, решение которой представлено в [5].

Исследования стабильности технологических процессов при переходе к серийному производству позволяют определить перечень конструкторско-технологических доработок и корректировок нормативно-технической документации. Указанные доработки и корректировки в большинстве случаев приводят как к закономерным, так и незакономерным смещениям центров группирования параметров определяющих составных частей изделий и процессов их изготовления x_i (j = 1...N; N - число параметров). При закономерном смещении наблюдаются монотонное возрастание или убывание значений параметров в зависимости от их физического смысла на некотором наблюдаемом участке времени [0, t]. При незакономерном смещении - то возрастающие, то убывающие тенденции на наблюдаемом участке.

Вопросы корректной обработки статистической информации и оценки показателей качества и надежности изделий РКТ, изготавливаемых в условиях указанного фактора недостаточной стабильности технологических процессов, рассмотрены в [2, 3, 4].

Методика обеспечения стабильности технологических процессов на основе методологического подхода к интегральной оценке точности технологических процессов изготовления изделий РКТ включает два блока типовых процедур. Основные положения методики представлены в работах [6, 7, 8, 9].

Методическая схема решения задачи обеспечения стабильности технологических процессов изготовления изделий РКТ включает два типовых этапа, которые выполняются последовательно-параллельно при итерационном поиске наиболее рационального варианта технологического процесса изготовления изделий РКТ [6,9]:

- первый этап информационное обеспечение процесса управления показателями качества и надежности изделий РКТ;
- второй этап синтез вариантов и выбор наиболее рационального варианта технологического процесса изготовления изделий РКТ.

На первом этапе выполняются следующие процедуры:

- мониторинг и исследование статистического поведения определяющих параметров изделий РКТ x_j (j=1...N; N- число параметров), значения которых зависят от производственно-технологических факторов неслучайного и случайного характера;
- определение естественных тенденций статистического поведения каждого конкретного определяющего параметра изделий РКТ х, на установленном временном интервале;
- ретроспективный сравнительный анализ фактических точностей определяющего параметра изделий РКТ с заданными в нормативно-технической документации на установленных временных интервалах, выявление системы отклонений;
- по выявленной системе отклонений фактических точностей определяющего параметра от заданных в нормативно-технической документации проводится сбор и анализ статистических данных с построением системы регрессионных функций зависимости отклонений от производственно-технологических факторов вида [7]:

$$\Delta_{i}^{n} = \sum_{j=1}^{n} b_{j} \, \Phi_{i} \tag{1}$$

где Δi — целевая функция, bij — коэффициенты регрессии; Φi — производственно-технологические факторы.

По выявленным зависимостям устанавливаются вклады факторов в величину разбросов размеров отклонений от заданных точностей определяющих параметров с представлением в виде упорядоченных по степени влияния совокупностей факторов.

На втором этапе выполняются следующие процедуры:



на основании системы отклонений от заданных точностей определяющих параметров и системы регрессионных функций зависимости отклонений от производственнотехнологических факторов проводится синтез вариантов корректирующих технологических решений и определение прогнозных значений точностей определяющих параметров установленных временных интервалах упреждения. Отбираются для дальнейшего сравнения и выбора варианты корректирующих технологических решений по критерию обеспечения точности определяющего параметра не ниже заданного;

 проводится прогнозирование показателей трудоемкости, надежности, стоимости и оптимизация состава корректирующих технологических решений по данной системе критериев.

Изложенный методологический подход к интегральной оценке точности технологических процессов изготовления изделий РКТ применим для типовых конструкторско-технологических решений, и его использование представляется наиболее перспективным при контроле стабильности типовых технологических процессов в условиях перехода к цифровому производству. Реализация данного подхода на базе современных цифровых решений обеспечит создание и производство изделий РКТ с показателями качества и надежности не ниже передовых мировых образцов.

Выволы

Сформулирован общий подход к обеспечению стабильности значений показателей качества и надежности создаваемых сложных изделий РКТ и технологий в условиях опытного и серийного производств. Классифицированы основные факторы, влияющие на стабильность параметров создаваемых изделий РКТ. Показана возможность количественного учета случайных факторов при обеспечении стабильности значений показателей качества и надежности создаваемых изделий РКТ и технологии их производства в условиях цифровой трансформации. Показаны общий методологический подход и типовая методика исследования и обеспе-

чения стабильности значений показателей качества и надежности создаваемых сложных изделий РКТ и технологии их производств на основе анализа и количественной оценки интегральной точности технологических процессов изготовления изделий РКТ на определенных контрольных интервалах. Показана актуальность метода оценки показателей качества и надежности изделий РКТ, изготавливаемых в условиях недостаточной стабильности технологических процессов. Отмечена актуальность реализации общего подхода к обеспечению стабильности значений показателей качества и надежности на базе современных цифровых решений.

Библиографический список

- 1. Апполонов И. В., Разумовский В. А., Котов А.Н., Астахов Ю. П., Хариев Н. И. Основные работы по надежности второй половины XX века в СССР и России и задачи по обеспечению надежности и безопасности техники XXI века// Оборонный комплекс − научно-техническому прогрессу России. М.: ВИМИ. − 2008. №2. − С. 3−20.
- 2. Апполонов И. В. Федоренко Г. И., Хариев Н. И. Методика анализа качества и оценки надежности технических устройств на этапе их отработки и освоения в производстве в условиях недостаточной стабильности технологических процессов// Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России». М.: ВИМИ. 2007. № 2. С. 86—98.
- 3. Апполонов И.В., Астахов Ю.П., Разумовский В.А., Хариев Н.И. О получении и использовании информации по результатам испытаний однотипных технических устройств при проведении инженерно-технических экспертиз в ходе расследования причин отказов в работе техники // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. М.: ВИМИ. 2008. №2. С. 3—25.
- 4. Апполонов И.В., Астахов Ю.П., Хариев Н.И., Юрцев Е.С. Основные вопросы обеспечения стабильности конкретных значений показателей создаваемых изделий и технологий в аэрокос-



мической отрасли// Труды XXXV академических чтений по космонавтике (Москва, 25–28 января 2011 г.). Под общ. ред. А.К. Медведевой: – М.: МГТУ. 2011. – С. 260–262.

- 5. Апполонов И. В., Астахов Ю. П., Саввушкина Н. Е., Хариев Н. И., Юрцев Е. А. Оптимизационные контрольные процедуры в задачах управления созданием сложных конкурентоспособных изделий и специализированного технологического оборудования// Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. М.: ВИМИ. 2008. №3. С. 3—20.
- 6. Белов В.В., Пантелеев К.Д. Формирование рациональной организационно-технологической структуры производства изделий на ранних стадиях проектирования // Вестник МГТУ. Машиностроение. 1992. №1. С. 115—125.
- 7. Денисов А.В. Выбор технологических процессов на ранних стадиях проектирования изделий при многокритериальной оценке вариантов// Проектирование систем ракетного и артиллерийского вооружения. М.: МВТУ. 1987. С. 33–34.
- 8. Исаченко В.А. Методологические основы технологического обеспечения проектирования изделий ракетной техники: дис. д-р техн. наук: 05.07.04.: защищена 27.05.1986: утв. 25.09.1986 / Исаченко Владимир Александрович. М., 1986. 383с. Машинопись.
- 9. Пантелеев К.Д. Разработка типовой методики формирования организационно-технологической структуры производства изделий ракетной техники с ранних стадий проектирования конструкции и технологии: дис. канд. техн. наук: 05.02.08.: защищена в 1993 г.: утв. 20.12.1993 / Пантелеев Константин Дмитриевич. М., 1992. 180 с. Машинопись.

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Юрцев Евгений Сергеевич – директор центра ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Yurtsev Evegeniy Sergeevich – Center Director of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru





УДК 621.92: 621.6

Пантелеев К.Д., Юрцев Е.С. Panteleev K.D., Yurtsev E.S.

О формировании оптимальных планов проведения научно-исследовательских работ при обеспечении показателей технического уровня космических систем

On the Optimal Plans Formation for the Research & Development Efforts During Achievement of technical Level Indicators of the Space Systems

В статье затронут вопрос необходимости оптимизации тематических планов проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (НИОКР и НИОТР) для обеспечения конкурентных значений показателей технического уровня изделий ракетно-космической техники за несколько циклов разработок, в ходе которых может смениться несколько модификаций изделий данного класса (тип, вид, конструктивный ряд). Предлагается методологический подход по оптимальному планированию НИОКР и НИОТР. Рассмотрены модели принятия управленческих решений при формировании оптимальных планов проведения НИОКР и НИОТР при разработке обязательной и необязательной номенклатуры образцов новой техники в условиях различной обеспеченности разработок основными видами ресурсов (денежными, материальными, трудовыми, временными). Модели базируются на критериях оптимальности Вальда, Севиджа и Гурвица, которые являются наиболее распространенными в теории принятия управленческих решений в условиях неопределенности и рисков.

The need to optimize research topic plans for research & development efforts and research & process efforts to achieve competitive indicators values of the aerospace products technical level for several development cycles, during which several modifications of products of this class (type, appearance, design variety) can change, is illustrated. The optimal planning methodological approach for research & development efforts and research & process efforts is proposed. The development issues of a mandatory and optional nomenclature of new hardware samples are considered. Managerial decision-making models during optimal plans formation for research & development efforts and research & process efforts are shown. The importance of models in the conditions of different development support with the main types of resources (monetary, material, labor, time) is highlighted.

The models are based on the optimality criteria of Wald, Savage and Hurwitz, which are the most common in the managerial decision-making theory in the conditions of uncertainty and risks.

Ключевые слова: промышленные технологии, проектный анализ, надежность, ракетно-космическая техника.

Keywords: Industrial technologies, project analysis, reliability, aerospace hardware.

Введение

Достижение требуемых значений показателей технического уровня (ТУ) изделий ракетно-космической техники (РКТ) не ниже уровней передовых мировых образцов может быть осуществлено за несколько циклов разработок и влечет за собой необходимость постановки и проведения специальных поисковых научно-исследовательских, опытно-кон-

структорских работ и опытно-технологических работ (НИОКР и НИОТР), для которых следует установить соответствующую приоритетность конкретных тематических планов проведения.

Для таких случаев показан методологический подход по оптимальному планированию НИОКР и НИОТР.



Постановка задачи оптимального планирования НИОКР и НИОТР при обеспечении конкурентных показателей технического уровня изделий РКТ

Под директивными НИОКР и НИОТР подразумеваются разработки, которые должны быть проведены в соответствии с директивно установленными календарными планами. Под инициативными НИОКР и НИОТР подразумеваются разработки, которые предполагается выполнить в более отдалённые сроки по сравнению со сроками выполнения директивных НИОКР и НИОТР. Возникает практическая задача обеспечить совмещение проведения определенной части инициативных разработок и директивных работ. Для компромиссного решения вопроса необходимо:

 во-первых, спланировать НИОКР и НИОТР для определённой части неприоритетной номенклатуры изделий с учетом ограничений по загрузке лабораторного и испытательного оборудования, возможностям персонала и т.д.;

– во-вторых, приступить к разработке части изделий приоритетной номенклатуры, а остальную часть передать временно другому предприятию, у которого имеются условия для разработки изделий данного класса (типа, вида, конструктивного ряда) с требуемыми показателями ТУ изделий. Какие конкретно изделия следует разрабатывать на данном предприятии можно решить на основе проведения формального анализа, например с помощью статистической теории принятия решений для неопределенных ситуаций.

Формализация процесса оптимального планирования НИОКР и НИОТР по критерию максимизации показателей ТУ изделий РКТ

Базовые аспекты постановки задачи формирования планов НИОКР (НИОТР) рассмотрены в [1].

Формально описание исходной ситуации состоит в следующем.

В момент времени t_k формирования планов проведения НИОКР (НИОТР) по S-му подразделению в q-й научно-исследовательской организации (НИО) имеются:

- 1. Множество ${R_{Sq}^0}$ НИОКР (НИОТР) по разработке директивной номенклатуры изделий новой техники, которое обеспечено необходимыми ресурсами на момент времени t_k формирования планов НИОКР (НИОТР). При этом мощности лабораторного, испытательного, измерительного оборудования, документация, кадры и т.д. используются не в оптимальном объеме.
- 2. Множество ${R_{Sq}^{01}}$, ${R_{Sq}^{0}}$ \cap ${R_{Sq}^{01}}$ \neq Ø НИОКР (НИОТР) директивной номенклатуры изделий новой техники, которое недостаточно обеспечено в момент времени t_k необходимым лабораторным, испытательным, измерительным оборудованием, документацией, кадрами и т.д., но в момент времени t_k + $\Delta \tau$ будет обеспечено в достаточной степени.
- 3. Множество ${R_{Sq}^{02}}$, ${R_{Sq}^{0}} \cap {R_{Sq}^{02}} \neq \emptyset$ НИОКР (НИОТР) по разработке инициативной номенклатуры изделий новой техники, которое в момент времени t_{ι} формирования планов

НИОКР (НИОТР) в достаточной степени обеспечено всем необходимым для качественного выполнения разработок.

Постановка задачи формирования планов НИОКР (НИОТР) формулируется следующим образом:

По S-му подразделению в q-й НИО в момент времени t_k включить в плановое задание на проведение НИОКР (НИОТР) по множеству изделий $\left\{R_{Sq}^0\right\}$ или в момент времени $t_k + \Delta \tau \left(\Delta \tau - \text{время ожидания необходимых ресурсов для постановки НИОКР (НИОТР) для изделий из множества <math>\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$) по множеству изделий $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$, которое удовлетворяет следующим критериям эффективности разработок:

— отклонения фактических сроков t_{NrSq}^{ϕ} начала выполнения N_r НИОКР (НИОТР) по г-ой номенклатуре изделий (тем, нарядов, заказов, бизнес-планов и т.д.) в S-м подразделении в q-й НИО от плановых сроков t_{NrSq}^{nn} должны быть минимальными, т.е.:

$$\Delta t_{NrSq} = t_{NrSq}^{\phi} - t_{NrSq}^{n\pi} \to \min ; \qquad (1)$$

— отклонение фактического запущенного в разработку количества НИОКР (НИОТР) в виде тем, заказов, нарядов, бизнес-планов и т.д. N_{rSq}^{ϕ} в S-м подразделении в q-й НИО от запланиро-



ванного количества N_{rSq}^{nn} должно быть минимальным, т.е.:

$$\Delta N_{rSq} = N_{rSq}^{\phi} - N_{rSq}^{n\eta} \to \min ; \qquad (2)$$

- отклонения фактической номенклатуры изделий r_{Sq}^{ϕ} , предусмотренных в N_r НИОКР (НИОТР), от запланированной номенклатуры изделий r_{Sq}^{nn} должны быть минимальными, т.е.:

$$\Delta r_{Sq} = r_{Sq}^{\phi} - r_{Sq}^{nn} \to \min ; \qquad (3)$$

- отклонения фактического объема работ $B_{\mathit{Sq}}^{\phi}(t_{\mathit{k+1}}),$ н/час., необходимого для выполнения НИОКР (НИОТР) в S-м подразделении в q-й НИО от запланированного объема $B_{Sa}^{nn}(t_{k+1})$, должны быть минимальными, т.е.:

$$\Delta B_{Sq}(t_{k+1}) = B_{Sq}^{\phi}(t_{k+1}) - B_{Sq}^{nn}(e_{n+1}) \rightarrow \min ;$$
 (4)

- интервалы времени между сроками контроля и регулирования в ходе выполнения НИОКР (НИОТР) в S-м подразделении в q-й НИО должны быть оптимальными, т.е.:

$$\Delta t = t_{k+1} - t_k \to opt; \tag{5}$$

- загрузка лабораторного оборудования, измерительных, вычислительных и испытательных систем и комплексов в процессе выполнения НИОКР (НИОТР) в S-м подразделении в q-й НИО должна быть максимальной, т.е.:

$$\Delta MO_{Sq} = MO_{Sq} - \sum_{\{R,..\}} r_{Sq} \cdot N_{rSq} \to \min;$$
 (6)

где $\{R_{\Lambda t}\}$ – множество изделий, разрабатываемых в НИОКР (НИОТР) в интервале Δt ;

- загрузка трудовых ресурсов в S-м подразделении в q-й НИО в процессе выполнения НИОКР (НИОТР) должна быть максимальной, т.е.:

$$\Delta KR_{Sq} = KR_{Sq} - \sum_{rSq \in \{R_{Nr}\}} TrSq \cdot N_{rSq} \rightarrow \min;$$
 (7)

где T_{Sq} , MO_{Sq} , KR_{Sq} — трудоёмкость проведения НИОКР (НИОТР) в S-ом подразделении предприятия, мощность лабораторно-испытательной базы и трудовые ресурсы (кадры) соответственно для проведения НИОКР (НИОТР) по г-му изделию (теме) в S-м подразделении предприятия.

При рассмотрении критериев оптимальности вида (1) ... (7) необходимо учитывать ограничения для множеств изделий $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ и $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$.

Решение данной задачи относится к классу многоэкстремальных с множеством стратегий. Под стратегией понимается выбор определённого множества изделий $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ или $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$ при проведении НИОКР (НИОТР), обеспечивающий экстремумы по всем критериям эффективности. При этом формирование вариантов стратегий планирования НИОКР (НИОТР) происходит в условиях значительной неопределенности.

Методическая схема решения задачи формирования оптимальных планов НИОКР (НИОТР) в обеспечение конкурентных показателей ТУ перспективных изделий РКТ включает два типовых этапа, которые выполняются последовательно-параллельно при итерационном поиске наиболее рационального варианта технологического процесса изготовления изделий РКТ [2,3].

На первом этапе выполняются следующие процедуры:

- исследование множеств $\left\{R_{Sq}^{0}\right\}$, $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ и $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$ на множестве параметров их описаний f_{i} (j= 1...N; N – число параметров) с формированием группировок из $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ и $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$, близких по степени подобия на множестве параметров.

На втором этапе выполняются следующие

- процедуры: на основании группировок из $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ и $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$, близких по степени подобия на множестве параметров, проводится синтез вариантов стратегий регулирования НИОКР (НИОТР) с определением значений показателей. Отбираются для дальнейшего сравнения и выбора варианты стратегий регулирования НИОКР (НИОТР) по ограничениям для $\{R_{Sq}^{01}\}$ и для $\{R_{Sq}^{02}\}$;
- наиболее оптимальная стратегия регулирования планов НИОКР (НИОТР) определяется по установленным критериям оптимальности.

В силу неопределенности ситуации для принятия конкретных плановых решений целесообразно исходить из принципа обеспечения некоторого гарантированного результата [4]. Наиболее известными на практике критериями оптимальности для решения задач



K_{j}	$K_{_1}$	K_{2}	K_3	$K_{_4}$	$K_{\scriptscriptstyle 5}$	$K_{_6}$	K_{7}
$\left\{R_{Sq}^{i} ight\}$							
$\left\{R_{Sq}^{01} ight\}$	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅	a ₁₆	a ₁₇
$\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	a ₂₅	a ₂₆	a ₂₇

Таблица 1. Матрица выигрышей

подобного типа являются минимаксный критерий Вальда, критерий минимального риска Сэвиджа и критерий пессимизма-оптимизма Гурвица [5, 6].

В рассматриваемой задаче определение оптимальной стратегии регулирования НИОКР (НИОТР), т.е. выбор множеств $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ и $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$ по критериям Вальда, Сэвиджа и Гурвица, осуществляется с использованием критериев эффективности, представляемых (1) ... (7), а также матрицей выигрышей, которая представлена в табл. 1.

В табл. 1: $K_1,...K_7$ — нормированные значения критериев эффективности; a_{ij} — значения возможного выигрыша по каждой стратегии и каждому критерию.

Значения возможных выигрышей a_{ij} по каждой стратегии можно определить по следующим формулам:

$$a_{1j} = 1 - K_j^{\left\{ R_{Sq}^{01} \right\}} \tag{8}$$

$$a_{2j} = 1 - K_j^{\left\{ R_{Sq}^{02} \right\}} \tag{9}$$

где $K_j^{\left\{R_{Sq}^{01}\right\}}$ и $K_j^{\left\{R_{Sq}^{02}\right\}}$ — значения критериев эффективности (в данном случае возможных потерь при использовании стратегии выбора множества изделий) $\left\{R_{Sq}^{01}\right\}$ и $\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$, определяемых по соотношениям (1) ... (7).

В соответствии с критерием Вальда в качестве оптимальной выбирается стратегия, при которой минимальный выигрыш будет максимальным, т.е. стратегия, гарантирующая выигрыш не меньший, чем максимин [13, 14]:

$$W = \max \min a_{ij} i = 1, 2; \quad j = \overline{1, 7}.$$
 (10)

Данный критерий рекомендует формально выбирать ту стратегию, для которой в худших условиях выигрыш максимален.

В соответствии с критерием Севиджа в качестве оптимальной стратегии выбирается стратегия, при которой величина риска недостижения желаемого результата принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации. Она гарантирует минимум максимального риска [13, 14]:

$$S = \min \max_{i = 1, 2; j = \overline{1, 7}} a_{ij}$$
 (11)

Значения возможных рисков b_{ij} для a_{ij} из (11) определяется следующим образом. В каждом столбце матрицы $\|a_{ij}\|$ находится максимальный элемент $\beta_j = \max(a_{ij})$. Далее строится матрица «сожалений» вида $B = \|b_{ij}\|$ в виде табл. 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов b_{ij}

K_{j}	K_1	K_2	K_3	K_4	K_{5}	$K_{\scriptscriptstyle 6}$	K_7
$\left\{R_{Sq}^{01} ight\}$	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	b ₁₅	b ₁₆	b ₁₇
$\left\{R_{Sq}^{02}\right\}$	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b ₂₄	b ₂₅	b ₂₆	b ₂₇



Значения коэффициентов b_{ij} находятся как $\beta_{ij} = \beta_j - a_{ij}; \quad i = 1, 2; \quad j = \overline{1, 7}$.

Сущность критерия Севиджа заключается в том, чтобы любыми путями избежать большого риска в принятии решений. Этот критерий аналогично критерию Вальда отражает ситуацию крайнего пессимизма. Но пессимизм в нем заключается в другом: худшим считается не минимальный выигрыш, а максимальный риск.

Согласно критерию Гурвица в качестве оптимальной стратегии выбирается такая стратегия, которая занимает некоторое промежуточное положение между крайним пессимизмом и оптимизмом. Этот критерий имеет вид [13, 14]:

$$H = \max[\alpha \min a_{ii} + (1 - \alpha) \max a_{ii}], \qquad (12)$$

где α — «коэффициент пессимизма», выбираемый между «0» и «1».

В задаче подобного типа α определяется экспертным методом в зависимости от запаса устойчивости хода выполнения НИОКР (НИОТР) [13]. В начале календарного периода, когда запас устойчивости достаточно большой, следует выбирать $\alpha < 0.5$. По мере выполнения работ какая-то часть этапов не выполняется. В этой связи запас устойчивости уменьшается и поэтому следует выбирать $\alpha > 0.5$.

Рассмотрение критериев оптимальности вида (10)...(12) позволяет обосновать конкретную стратегию принятия решений в ходе выполнения НИОКР (НИОТР) в условиях значительной неопределенности. Практическое применение трех критериев оптимальности к задачам данного типа, как правило, приводит к совпадению стратегий планирования НИОКР (НИОТР) по двум или по всем трем критериям, представленным в табл. 3.

Таблица 3. Итоговые результаты

Критерий	W	S	Н
$\left\{R_{Sq}^{01} ight\}$	+ ∨ -	+ ∨ −	+ ∨ -
$\left\{R_{Sq}^{02} ight\}$	+ ∨ −	+ ∨ -	+ ∨ -

В табл. 3 «+» и «-» обозначены выбор или невыбор стратегий $\left\{R^{01}_{Sq}\right\}$ или $\left\{R^{02}_{Sq}\right\}$ по соответствующему критерию оптимальности вида (10)...(12), что обеспечивает формальное принятие решения.

Выводы

Рассмотрены постановка задачи формирования оптимальных тематических планов НИОКР (НИОТР) при создании образцов новой техники из директивной и инициативной номенклатуры изделий, этапы принятия управленческих решений в ходе формирования тема-

тических планов НИОКР (НИОТР), совокупность критериев оптимальности при формировании тематических планов НИОКР (НИОТР), ориентированные на использование выбора соответствующих стратегий оптимальности Вальда, Севиджа, Гурвица.

Библиографический список

- 1. Апполонов И.В., Астахов Ю.П., Хариев Н.И. О структуре типовых проектов для прогнозных задач в программах создания конкурентоспособных изделий и средств технологического оснащения их производств// Сб. тезисов докладов на XXX Чтениях по космонавтике, посвященных памяти акад. С.П. Королева и др. выдающихся отечественных ученых освоения космического пространства. М.: МГТУ им. Баумана. 2006. 71 с.
- 2. Пантелеев К.Д. Интегративно-декомпозиционный подход к формированию производственных систем на ранних стадиях жизненного цикла изделий ракетно-космической техники // Вестник машиностроения. -2008. №5. С. 77-81.



- 3. Пантелеев К.Д. Типовая методика формирования производственных систем // Вестник машиностроения. -2008. №6. С. 76–81.
- 4. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Кнорус. 2018. 192 с.
- 5. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т./ Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред) и др. Т.7. Качество и надежность в производстве/ Под ред. И.В. Апполонова М.: Машиностроение, 1989.-376 с.
- 6. Никифоров А.Д. Управление качеством: Учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2004. 719 (1) с.: ил.

Пантелеев Константин Дмитриевич — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Юрцев Евгений Сергеевич – директор ЦТР РКП ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Yurtsev Evegeniy Sergeevich – Director of Technology Development Center of the Aerospace Industry of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev Tel.: 8(495) 689–95–26. E-mail: E.Yrcev@tmpo.ru





Кулик В.И., Щегольсков В.П., Смирнов А.В., Степанов В.В., Мучило Ф.М. Kulik V.I., Schegolskov V.P., Smirnov A.V., Stepanov V.V., Muchilo F.M.

Современные концепции разработки системы управления для дуговой сварки

State-of-the-Art Development Concepts for Arc Welding Control Systems

В настоящей работе рассматриваются основные подходы к разработке аппаратуры для дуговой сварки при проектировании различного типа сварочного оборудования. Изготовлены две установки с различными системами управления и проведены испытания для сварки опытной партии образцов. Сделано заключение о возможности применения рассмотренных подходов при разработке нового типа сварочного оборудования.

The basic approaches for the arc welding equipment development during the design of various types of welding equipment are considered in this paper. Two machines with different control systems were manufactured and tested for welding a pre-production batch of samples. The conclusion about application possibility of the considered approaches during development of the new welding equipment type is made.

Ключевые слова: дуговая сварка, система управления, одноплатный компьютер, программируемый логический контроллер, помехоустойчивость.

Keywords: arc welding, control system, single board computer, PLC, interference immunity.

В настоящее время разработка эффективной и компактной системы управления сварочным процессом является одним из основных факторов обеспечения конкурентоспособности сварочного оборудования на рынке. При этом постепенное внедрение в промышленность концепций Индустрии 4.0 приводит к необходимости построения достаточно гибкой системы автоматизации, позволяющей интегрироваться в существующие производственные системы. В силу специфичности оборудования для дуговой сварки и широкого круга решаемых задач система управления должна обладать следующими качествами:

- а) обеспечивать высокую стабильность работы при возникновении различных помех, что особенно характерно для сварки неплавящимся электродом, где для зажигания дуги используются высоковольтные высокочастотные генераторы, электромагнитное воздействие которых может привести к выходу оборудования из строя;
- б) коммутироваться с различными исполнительными устройствами, такими как мани-

пуляторы, суппорты, источники сварочного тока, модуль регистрации значений и т.п.;

в) иметь диалоговый интерфейс для связи с оператором.

Таким образом, современные системы управления сварочным процессом должны обеспечивать удобное и простое управление режимами сварки, систему сбора информации о процессе и гибкую настройку выходных данных, помехозащищённость всех узлов автоматики. В соответствии с современными подходами к промышленной автоматизации разработка системы управления сварочным процессом может осуществляться на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) или на базе одноплатного персонального компьютера (ПК).

Первый подход подразумевает, что управление осуществляется непосредственно логикой ПЛК, а все периферийные устройства (например, газовые клапаны, драйверы шаговых двигателей и т.д.) подключаются через различные интерфейсы непосредственно к контроллеру. При этом ПЛК является только



исполнительным устройством, поэтому для обеспечения удобства взаимодействия пользователя с системой обычно используется интеллектуальная сенсорная панель. Сенсорная панель выполняет функции визуального взаимодействия с пользователем и, одновременно, позволяет обеспечить сохранение параметров процесса сварки. Такой подход позволяет обеспечить простую схему управления процессом сварки, однако накладывает ряд ограничений на возможности визуального отображения информации и работы с пользователем, поскольку при разработке такой системы используются стандартные инструменты, встроенные в среду разработки конкретного производителя. Для сбора информации о процессе и формирования отчёта используются также стандартные средства, которые могут накладывать ограничения на структуру и формат данных о технологическом процессе.

При втором подходе для задания режимов сварки и сбора информации о процессе используется компьютер под управлением какой-либо операционной системы. При этом в качестве исполнительного устройства может также выступать ПЛК или какая-либо процессорная плата, которая выполняет заложенную программу и взаимодействует с различными периферийными устройствами. Взаимодействие между компьютером и исполнительным устройством, как правило, осуществляется по клиент-серверной технологии, например,

за счёт использования ОРС-сервера. Такой подход позволяет обеспечить более гибкое взаимодействие с пользователем, поскольку управляющая программа разрабатывается в обычной среде программирования и позволяет обеспечить вывод информации о технологическом процессе практически в любой форме. Анализ рынка сварочного оборудования показал, что данный подход используется современными производителями сварочной аппаратуры, например, ESAB и Polysoude. При этом в качестве операционной системы, главным образом, используется адаптированная версия Linux, а управляющая программа разрабатывается на кроссплатформенных языках программирования. Использование кроссплатформенности позволяет обеспечить работоспособность самого оборудования, а также в случае интеграции установки в централизованную систему сбора и анализа информации - возможность установки на удалённые компьютеры. К недостаткам данного подхода можно отнести усложнение схемы проектирования аппаратуры и уменьшение скорости её реагирования при управлении сварочным циклом, что происходит из-за наличия операционной системы.

Для выявления особенностей работы аппаратуры, построенной на базе двух подходов, при проектировании нового сварочного оборудования во ФГУП «НПО «Техномаш» использованы обе схемы управления сварочным процессом (рис. 1).

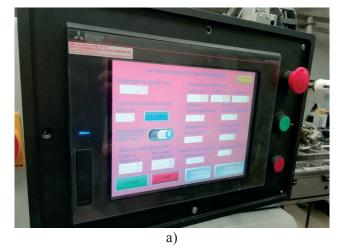




Рис. 1. Внешний вид интерфейса системы автоматики на базе ПЛК (а) и на базе ПК (б)



Система управления на базе ПЛК реализована при проектировании сварочной установки с газодинамическим воздействием на сварочную ванну. За основу системы управления выбран ПЛК Mitsubishi серии FX5 с сенсорной панелью оператора (HMI) серии GT27 и регулируемые сервопривода Servoline. Связь с основными исполнительными элементами осуществлялась через дискретные и аналоговые входы/выходы ПЛК. Управление сервоприводами переменного тока для позиционирования осей и драйверов шагового двигателя осуществляется по каналам частотного управления ПЛК, а взаимодействие с пользователем, включая вывод изображения с системы видеонаблюдения, - через интерфейсы взаимодействия НМІ.

Система управления на базе ПК реализована совместно с АО «Лаборатория электроники» на базе одноплатного компьютера с процессором Intel Atom под управлением Windows 10 и использовалась для управления сварочным процессом орбитальной сварки. В качестве основного исполнительного модуля выбран ПЛК WAGO с блоком управления шаговыми двигателями, который осуществляет управление всеми остальными исполнительными элементами. Взаимодействие с пользователем осуществляется через сенсорный экран ПК. Задание режимов сварки и сбор информации о процессе осуществляется в разработанной программе, установленной на ПК, а взаимодействие с ПЛК осуществляется через OPC-сервер с помощью «меток» (tags).

Оценка работоспособности разработанных систем управления осуществлялась при сварке опытных образцов с использованием стандартного сварочного источника питания EWM Tetrix 300. В результате проведённых экспериментов установлено, что система управления на базе ПК

обладает низкой помехозащищённостью — помехи и выключение автоматики в момент зажигания дуги (включения осциллятора) проявлялись даже при использовании специальных плат искрозащиты. При этом выключение системы автоматики приводит к перезагрузке операционной системы ПК, что требует достаточно продолжительного времени для повторного включения источника тока и может привести к нарушению теплового режима сварки. Наличие полноценного ПК позволило обеспечить сбор информации о технологическом процессе и вывод в требуемом виде непосредственно на внутренний носитель информации.

Система управления на базе ПЛК при сварке показала большую устойчивость и помехозащищённость. Помехи от работы осциллятора наблюдались только на экране системы видеонаблюдения непродолжительное время. Однако из-за ограниченного функционала в средствах разработки вывод информации о технологическом процессе удалось обеспечить только в виде текстового файла. В связи с этим для формирования отчёта о процессе сварки в требуемой форме (протокол с таблицей параметров сварки и графиком изменения тока) потребовалась дополнительная разработка программного обеспечения. По согласованию с заказчиком вывод информации осуществлялся в виде файла Excel, для чего разработан шаблон MS Excel и макрос, преобразующий файл с текстовой информацией в требуемый вид. Установлено, что для сбора и передачи информации о технологическом процессе в более сложную производственную систему при таком подходе наиболее эффективно использовать отдельную специальную SCADAсистему, имеющую внешние интерфейсы взаимодействия.

Выводы

- 1. Рассмотрены основные современные концепции разработки аппаратуры для управления сварочным процессом, включая системы на базе ПЛК с сенсорной панелью и под управлением одноплатного компьютера.
- 2. Рассмотренные концепции использованы при проектировании перспективного сварочного оборудования ФГУП «НПО «Техномаш».
- 3. Результаты исследования разработанных систем управления показали их примерное соответствие по функциональным возможностям. Вместе с этим система под управлением одноплатного компьютера позволяет обеспечить большую гибкость при взаимодействии с пользователем и внешними системами, но обеспечение стабильности работы требует разработки системы



помехозащиты всех узлов. Система на базе ПЛК с сенсорной панелью обеспечивает большую устойчивость работы и оперативный контроль за параметрами режима сварки, но для гибкости

Кулик Виктор Иванович — канд. техн. наук, эксперт ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

Щегольсков Владимир Петрович — ведущий инженер-технолог $\Phi\Gamma$ УП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

Смирнов Андрей Витальевич — ведущий инженер-электроник $\Phi\Gamma$ УП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

Степанов Владимир Валерьевич – канд. техн. наук, доцент, начальник лаборатории ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

Мучило Фёдор Михайлович — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник $\Phi \Gamma Y \Pi$ «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

Тел.: 8(495) 689-14-44. E-mail: 240@tmnpo.ru

взаимодействия с другими производственными системами и формирования отчётной документации в требуемом виде необходимо применение отдельного ПК и специализированных программ.

Kulik Viktor Ivanovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

Schegolskov Vladimir Petrovich – Leading Process Engineer of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

Smirnov Andrei Vitalevich, – Leading electronics engineer of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

Stepanov Vladimir Valeryevich – Ph.D. in Engineering Sciences, Assoc. Prof., Laboratory Head of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

Muchilo Fedor Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading researcher of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev. Tel.: 8(495) 689–14–44. E-mail: 240@tmnpo.ru





Кулик В.И., Кочергин С.А., Машко Р.В., Пась О.В., Гудков А.В. Kulik V.I., Kochergin S.A., Mashko R.V., Pas O.V., Gudkov A.V.

Разработка специального технологического оборудования для электронно-лучевой сварки тепловых труб космических аппаратов

Development of Special Process Equipment for the Electron Beam Welding of Space Vehicles Heat Transfer Pipes

В работе изложены результаты разработки специального технологического оборудования для электронно-лучевой сварки тепловых труб космических аппаратов, которое позволит повысить механические свойства сварных соединений, снизить энергозатраты на производство и повысить срок активного существования космических аппаратов.

The paper presents the results of the special process equipment development for the electron beam welding of space vehicles heat pipes which will improve the mechanical properties of welded joints, reduce energy consumption for the production and increase the operational life of space vehicles.

Ключевые слова: современное сварочное оборудование, электронно-лучевая сварка, тонкостенные конструкции, ракетно-космическая техника.

Keywords: state-of-the-art welding equipment, electron beam welding, thin-walled constructions, aerospace hardware.

В целях обеспечения теплового режима приборов космического аппарата (КА), выравнивания температурных полей сотовых панелей и сброса тепла в открытое пространство используют тепловые трубы (ТТ) из алюминиевых профилей. Профили получены прессованием, имеют конструкционную структуру в виде продольных канавок, по которым протекает теплоноситель (рабочая жидкость) аммиак.

В зависимости от требуемой тепловой мощности для ТТ могут использоваться алюминиевые профили разных диаметров парового канала.

В настоящее время в АО «ИСС» используется технологический процесс аргонодуговой сварки ТТ. Однако современные требования, предъявляемые к космической технике, обуславливают необходимость изыскания возможности получения более высоких норм качества сварных швов, обеспечения полного провара швов, прочностных характеристик и пластичности сварных швов, со сроком активного существования космических аппаратов (САС КА) не менее

15 лет. Внедренные в настоящее время на предприятии оборудование и технологии с трудом обеспечивают получение необходимых норм качества сварных соединений КА со сроком службы до 15 лет.

При сварке тонкостенных узлов из алюминиевых сплавов аргонодуговой сваркой основной проблемой является получение герметичных сварных соединений без внутренних дефектов. Для повышения качества и надежности сварных соединений в обеспечение гарантированного САС КА не менее 15 лет необходима разработка нового современного оборудования и технологий сварки, обеспечивающих необходимое качество сварных соединений. Основной проблемой является получение герметичных соединений без дефектов. На имеющемся в АО «ИСС» сварочном оборудовании для аргонодуговой сварки затруднительно получить качественные соединения тонкостенных узлов. Сварка выполняется на малых токах, при малых толщинах процесс аргонодуговой сварки протекает неустойчиво.



Повышение качества сварных соединений тонкостенных элементов различных форм и сечений, используемых в КА, может быть достигнуто только с применением оборудования и автоматизированного технологического процесса электронно-лучевой сварки (ЭЛС), обеспечивающей высокое качество сварных соединений, воспроизводимость и повторяемость технологических параметров на режимах малых токов.

Целью выполнения работы является разработка технологии и изготовление специального технологического оборудования (СТО) для ЭЛС ТТ диаметром от 8 до 14 мм, длиной до 2700 мм, которые используются для охлаждения антеннофидерных устройств КА.

Общий вид СТО представлен на рис. 1.

Технические характеристики СТО представлены в табл. 1.



Рис. 1. Общий вид специального технологического оборудования для электронно-лучевой сварки тепловых труб





№ п/п	Наименование показателей	Значение			
1	Свариваемое изделие				
1.1	Максимальные габаритные размеры свариваемых изделий, мм: – диаметр – длина – толщина стенки	от 8,0 до 14,0 до 3000 1,0			
1.2	Материал свариваемых деталей	сплав АМг6, АД31Т1			
1.3	Герметичность тепловой трубы после сварки	не более 4,5·10–6г за 4 часа			
2	Вакуумная система				
2.1	Откачиваемый объем вакуумной камеры, м3	0,520			
2.2	Рабочее давление в камере с приставкой, Па (мм рт.ст.), не более	1,3·10–2 (1·10–4)			
2.3	Время достижения рабочего давления в камере, мин	от 10 до 15			
2.4	Система охлаждения	Автономная, замкнутая			
3	Электронно-лучевая аппаратура				
3.1	Ускоряющее напряжение, кВ	30			
3.2	Мощность, кВт	4,5			
3.3	Ток луча, мА	от 0 до 150			
3.4	Нестабильность тока луча, не более, %	1			
3.5	Нестабильность тока фокусировки, не более, %	1			
3.6	Расстояние от среза ЭЛП до изделия, мм	от 100 до 300			
3.7	Максимальный угол отклонения луча, град.	± 7			
4	Механическая система				
4.1	Общее количество управляемых координат, шт.: – механизма вращения изделия – механизма перемещения изделия	3 1 2			
4.2	Ход крестового стола по оси Х, мм	± 100			



4.3	Ход крестового стола по оси Y, мм	± 100		
4.4	Скорость перемещения координатного стола по осям X, Y, м/ч	от 0 до 60		
4.5	Скорость вращения изделия, об/мин	от 0 до 30		
4.6	Точность углов поворота при перестановке позиций, град. (угловые секунды)	± 0,025 (90)		
4.7	Точность углов поворота при вращении изделия, град. (угловые секунды)	± 0,054 (195)		
4.8	Диаметр планшайбы механизма вращения	325		
5	Электроэнергия			
5.1	Силовое электропитание УЭЛС-ТТ: – напряжение, В – частота, Гц – установленная мощность, кВт	380 50 30		
5.1	– напряжение, В– частота, Гц	50 30		
	напряжение, Вчастота, Гцустановленная мощность, кВт	50 30		

В состав СТО входит:

- основание;
- базовая вакуумная камера;
- приставные вакуумные камеры (2 шт.);
- стол крестовой;
- механизм вращения тепловых труб;
- повторитель (2 шт.);
- модуль коммуникаций;
- система вакуумная;
- система охлаждения;
- электронно-лучевая аппаратура;
- электрооборудование;
- система управления.

Основание представляет собой многосекционную металлоконструкцию, на верхней стенке которой установлены рельсовые направляющие. На передних стенках каждой секции расположены двери, что позволяет использовать основание для хранения инструмента и принадлежностей.

Базовая вакуумная камера представляет собой сварную конструкцию прямоугольного се-

чения из коррозионностойкой стали толщиной 22 мм. В стенках камеры имеются два иллюминатора. На верхней стенке камеры расположена проставка для установки модуля электронно-лучевой пушки. На задней стенке камеры расположены прижимы для фиксации и герметизации задней крышки и приставной камеры.

Камера приставная предназначена для размещения в ней ТТ длиной 2700 мм и представляет собой цилиндрическую часть камеры длиной 1300 мм, перемещаемую по рельсам, расположенным на основании. В зависимости от длины ТТ возможен их монтаж/демонтаж от базовой вакуумной камеры. Операция монтажа/демонтажа не является трудоемкой. Прижимы заглушки и приставной камеры имеют специальные центраторы.

Вакуумная система является самостоятельным модулем, который в автоматизированном режиме производит откачку объема базовой и приставной камер до разряжения 1,33·10–2 Па (1·10–4 мм.рт.ст.) и информирует о готовности к сварке.



Вакуумная система включает в себя два безмасляных форвакуумных насоса Рутса МU 300 и МU 100 («Каshiyama», Япония) производительностью 83 л/с и 27,7 л/с соответственно, а для получения высокого вакуума использован турбомолекулярный насос ЕМТ 3304 (производитель — Евага, Япония) производительностью 3300 л/с. Насос МU 100 предназначен для откачки воздуха из ТМН. Схема вакуумная принципиальная приведена на рис. 2.

Стол крестовой представляет собой механическую конструкцию с приводами и линейными направляющими, позволяющими перемещать изделие по осям X и Y, и предназначен для перемещения свариваемых деталей. Стол состоит из двух модулей линейных перемещений.

Многопозиционный вращатель револьверного типа рассчитан на одновременную установку 5 ТТ и предназначен для передачи вра-

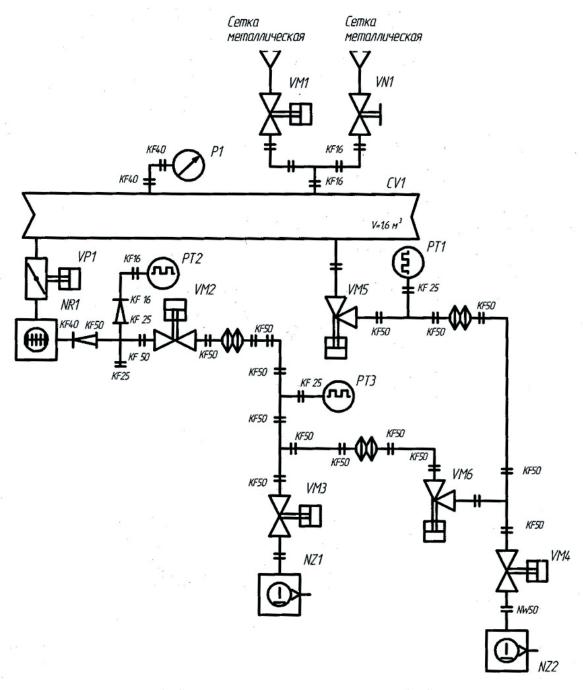


Рис. 2. Схема вакуумная принципиальная УЭЛС-ТТ



щающего момента, равномерного вращения изделий с заданной скоростью. В горизонтальном положении свариваемые изделия закрепляются в патронах вращателя. Для каждого типоразмера ТТ предусмотрены фиксирующие устройства, с помощью которых тепловые трубы устанавливаются в механизм вращения.

Система охлаждения предназначена для поддержания рабочей температуры насосов, входящих в состав вакуумной системы и элементов электронно-лучевой аппаратуры. В качестве промышленного охладителя использована водоохлаждающая установка ВМТ-4 («Ксирон-Холод», г. Ивантеевка).

В состав электронно-лучевой аппаратуры 30 кВ/4,5 кВт (ООО «НПК «ТЭТА», г. Томск) входят:

- электронно-лучевая пушка;
- источник высокого напряжения (ИВН);
- блок формирования пучка (БФП);
- пульт управления.

В аппаратуре используется электронно-лучевая пушка (ЭЛП) с термокатодом прямого накала. ЭЛП имеет место подключения любого параметрического датчика с присоединительным размером СF35 для измерения давления и место подключения турбомолекулярного насоса с присоединительным размером ISO63. Общий вид ЭЛП приведен на рис. 3.

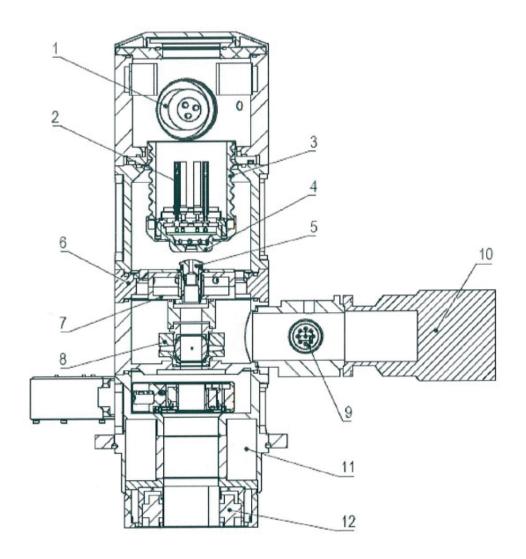


Рис. 3. Общий вид ЭЛП: 1 – высоковольтный разъем, 2 – катодная «ножка», 3 – катодный узел, 4 – венельт, 5 – анод, 6 – корпус, 7 – фокусирующая катушка, юстирующая катушка, 8 – затвор, 9 – место для подключения средства измерения вакуума, 10 – турбомолекулярный насос, 11 – фокусирующая катушка, 12 – отклоняющая катушка



Также в СТО предусмотрены системы блокировок, которые обеспечивают безопасную работу персонала, защиту узлов комплекса от ошибочных действий оператора, блокировку механических движений и отключение электропитания при аварийных ситуациях, наиболее благоприятное завершение функционирования при выявленных

Кочергин Сергей Александрович – канд. техн. наук, и.о. начальника отделения сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689–95–45. E-mail: skochergin@tmnpo.ru

Кулик Виктор Иванович – канд. техн. наук, эксперт ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689-14-44 доб. 25-43.

Машко Ростислав Владимирович — начальник лаборатории ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689-97-04 доб. 24-53.

Пась Олег Викторович — начальник отдела ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689-97-37 доб. 23-97.

Гудков Анатолий Владимирович – ведущий инженер-технолог ФГУП «НПО «Техномаш».

Тел.: 8(495) 689-97-00.

отклонениях в состоянии оборудования. Применение современных образцов промышленных установок для ЭЛС позволит снизить трудоемкость и энергозатраты, увеличить производительность предприятий, задействованных в производстве КА, а также повысить САС КА, отвечающий современным требованиям.

Kochergin Sergei Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Acting Head of Welding and Brazing Division of FSUE «NPO «Technomac». Tel.: 8(495) 689–95–45. E-mail: skochergin@tmnpo.ru

Kulik Viktor Ivanovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of FSUE «NPO «Technomac». Tel.: 8(495) 689–14–44 ext. 25–43.

Mashko Rostislav Vladimirovich – Laboratory Head of FSUE «NPO «Technomac». Tel.: 8(495) 689–97–04 ext. 24–53.

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

Tel.: 8(495) 689-97-37 ext. 23-97.

Gudkov Anatoliy Vladimirovich – Leading Process Engineer of FSUE «NPO «Technomac».

Tel.: 8(495) 689–97–00.



УДК 658. 516.4: 629.78

Дорохин Ю.Н., Рябчиков П.В., Лобастов М.М. Dorokhin Y.N., Ryabchikov P.V., Lobastov M.M.

Неисправности производственного характера ракетно-космической техники. Проблемные вопросы технологической подготовки производства

Causes of the Aerospace Hardware Faults by Manufacturing Reasons. Problematic Issues of Manufacturing Process Preparation

Статья посвящена результатам выполнения практических задач по повышению качества и надёжности ракетно-космической техники.

The paper is devoted to the results of practical problems on the quality and reliability improvement.

Ключевые слова: качество, надежность, технологическая подготовка производства, метрологическое обеспечение.

Keywords: quality, reliability, process design, metrological support.

ФГУП «НПО «Техномаш» – головная научно-исследовательская организация ракетно-космической промышленности (ГНИО РКП) по технологиям создания ракетно-космической техники (РКТ) и метрологическому обеспечению её производственно-технологической базы, что определено Положениями РК-98-КТ и РК-11-КТ. Основной задачей предприятия является обеспечение реализации эффективной инжиниринговой, технологической и промышленной стратегии развития ракетно-космической промышленности (РКП).

К сожалению, начиная с 2002 года и до 2019-го г., не было ни одного календарного года, в котором бы не произошло ни одного аварийного запуска РКТ. 2019-й стал первым годом за 16 лет, который прошёл без аварий. Этот, пусть пока еще и не ставший системным, результат — плод работы значительного числа специалистов РКП, в том числе и ФГУП «НПО «Техномаш».

В период 2009–2016 гг. отказы производственного характера составляли до 40 % от общего количества. При этом отказы по причине «ошибка исполнителя» составляли 60%. Такое определение причины было наиболее

удобным. До 2016 года больше чем в половине случаев реальная причина отказов не устанавливалась, а назначалась. Естественно, такой подход не устраивал ни Госкорпорацию «Роскосмос», ни ФГУП «НПО «Техномаш». В результате проделана серьезная системная работа: создана единая Система управления качеством Госкорпорации «Роскосмос», проводится постоянное совершенствование систем менеджмента качества (СМК) организаций РКП, ведется научно-техническое и технологическое сопровождение создания изделий РКТ.

Также проводится внедрение новых производственных систем, в том числе основанных на принципах «бережливого производства».

За период с 2016 года по настоящее время ситуация с распределением несоответствий производственного характера в целом осталась примерно на том же уровне – 36% от общего числа несоответствий.

Несмотря на то, что количество отказов по производственным причинам остается на стабильном уровне с тенденцией к снижению (с 40% до 36% от общего числа), важно отметить, что существенно снизилось количество отказов по причине «ошибка исполнителя»



(с 60% до 24%), т.е. существенно усилилась работа по установлению реальных причин возникновения отказов и несоответствий.

По результатам анализа установлены наиболее часто встречающиеся причины несоответствий производственного характера:

- ошибка технологического процесса;
- ошибки в программе обработки;
- несоответствия при испытаниях;
- влияние слабоуправляемых процессов (сварка, гальваника, литье, ковка);
- неправильный выбор оборудования и оснастки;
- состояние (поломка) или отсутствие оборудования и оснастки.

Всего в организациях РКП внедрено более 5000 технологий, применяется более 40 000 единиц технологического оборудования и порядка 1 млн единиц средств измерений (СИ).

Одной из основных проблем, снижающих эффективность действующей системы производственно-технологического обеспечения, является моральное старение и физический износ оборудования.

На сегодняшний день 62 % от общего числа оборудования — это оборудование, выпущенное 20 лет назад и более. При этом доля современных станков с программным управлением составляет лишь 25 % от общего числа.

С экспериментально-испытательным оборудованием ситуация выглядит не лучше: более 50 % оборудования имеет возраст старше 20 лет. При этом реальная загрузка подобного оборудования составляет, как правило, не более 5 % в год. Из более чем миллиона применяемых средств измерений 84 % выпущено более 20 лет назад.

Результаты проводимой ФГУП «НПО «Техномаш» паспортизации организаций РКП показывают, что частная проблема истинных причин несоответствия имеет системную подоплеку. Основными причинами таких несоответствий являются: низкий уровень проработки техпроцессов, низкий уровень внедрения цифровых систем разработки конструкторской и техноло-

гической документации, устаревшее оборудование и т.д.

Снижение количества несоответствий производственного характера возможно за счет реализации следующих ключевых направлений деятельности:

- парирование рисков при реализации трудноуправляемых технологических процессов путем внедрения новых технологий и технологий контроля в реальном времени. Хорошим примером в данном случае является внедрение сварки трением с перемешиванием с автоматическим ультразвуковым контролем шва;
- несоответствие техпроцессов конструкторской документации парируется внедрением взаимоувязанных САD (КАД) и САМ (КАМ) систем цифрового проектирования;
- несоответствующее и неисправное оборудование парируется его обслуживанием и диагностикой оборудования, планомерной заменой, реконструкцией и техническим перевооружением;
- несоответствия при испытаниях должны парироваться созданием цифровых аналогов процессов испытаний, модернизацией оборудования, планомерным уходом от контроля косвенных параметров к прямым измерениям;
- также необходимо проводить постоянное совершенствование нормативной документации. Ярким примером стал инцидент в АО «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева», когда при создании нового центра компетенции применён неоткорректированный технологический процесс термообработки в соответствии с произошедшими за 27 лет изменениями в подходах нормирования показателей твердости. Все это в итоге привело к необходимости возврата и переборки нескольких ракетносителей «Протон-М» с космодрома Байконур.

Многие из перечисленных отраслевых вопросов должны решаться при проведении научно-технического и технологического сопровождения (НТСопр), который уже показал свою эффективность, и поэтому необходимо продолжить его развитие.

В рамках проведения НТСопр установлено, что в большинстве организаций РКП на-



рушаются следующие требования Положения PK-11-KT.

- наличие и функционирование главных технологов проектов;
- согласование актов готовности производства с ГНИО РКП;
- получение (выдача) заключения ГНИО о пригодности КД с литерой «О»;
- проведение экспертизы технологического обеспечения серийного производства.

Также отсутствует система обмена информацией и принятия решений.

Предприятия периодически «забывают», что методическая помощь ГНИО – это действительно важный и эффективный инструмент в процессах создания изделий РКТ.

На многих предприятиях РКП отсутствуют организационно-распорядительные документы, определяющие функции, задачи, должностные обязанности главных технологов. На трети предприятий отсутствуют службы главных технологов, планы, программы работы и развития соответствующей службы.

В ускорении решения данного вопроса существенную помощь отрасли может оказать воссоздание Совета главных технологов.

Рябчиков Павел Вячеславович – заместитель директора центра ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева

тел. 8-495-689-95-94, add. 23-09. E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Дорохин Юрий Николаевич - заместителя генерального директора по обеспечению качества производства РКТ ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева

тел. 8-495-689-96-66, доб. 22-63 E-mail: Y.Dorohin@tmnpo.ru

Лобастов Максим Михайлович – руководитель направления ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

тел. 8-495-689-95-94, add. 23-09. E-mail: m.lobastov@tmnpo.ru

ФГУП «НПО «Техномаш» остаётся головной организацией отрасли в части метрологического обеспечения по технологиям создания РКТ в соответствии с приказом Госкорпорации «Роскосмос» от 23.08.2016 №168 «Об организации работ по технологическому и материаловедческому сопровождению программ создания ракетно-космической техники».

Производство РКТ в силу его уникальности и наукоемкости является штучным и мелкосерийным.

В процессах производства на многих предприятиях РКП применяются нестандартизованные средства измерений, неаттестованные методики измерения, в том числе косвенные методы измерений.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» для методической помощи предприятиям РКП вновь создан «Отраслевой центр метрологического обеспечения качества РКТ и технического регулирования», основной задачей которого является утверждение нестандартизованных средств измерений. В настоящее время необходимые работы активно ведутся в данном направлении.

Ryabchikov Pavel Vyacheslavovich – Deputy Center Director of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

tel. 8-495-689-95-94, ext. 23-09. E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Dorokhin Yurii Nikolaevich - Deputy CEO for Quality Assurance in the Aerospace Manufacturing of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

tel. 8-495-689-96-66, ext. 22-63 E-mail: Y.Dorohin@ tmnpo.ru

Lobastov Maksim Mikhailovich – Area Head of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

tel. 8-495-689-95-94, ext. 23-09. E-mail: m.lobastov@tmnpo.ru





УДК 658.562:6297.017: 629.78

Рябчиков П.В., Тарасов В.В., Круглов И.А. Ryabchikov P.V., Tarasov V.V., Kruglov I.A.

Вопросы качества и надежности, реализуемые в рамках Программы стандартизации ракетно-космической техники

Quality and Reliability Issues Implemented under the Standardization Program for the Aerospace Hardware

Статья посвящена результатам выполнения Программы по стандартизации ракетно-космической техники и устанавливает задачи на период 2022-2025 гг.

The article is devoted to the results of the standardization program implementation for the aerospace hardware and sets objectives for the period 2022–2025.

Ключевые слова: стандартизация, документы по стандартизации, программа стандартизации PKT.

Keywords: standardization, standardization documents, standardization program for the aerospace hardware.

Качество, надежность и безопасность ракетно-космической техники (РКТ) определяются рядом факторов, в том числе уровнем актуализации и гармонизации применяемых ракетно-космической промышленности (РКП) документов по стандартизации (ДС) РКТ в области технологии машиностроения с действующим фондом международных, межгосударственных, государственных военных и национальных стандартов.

Основным методом планирования работ по совершенствованию нормативно-технического обеспечения создания и производства изделий РКТ (в части стандартизации) является Программа работ по стандартизации РКТ.

Исходя из основных директивных документов по созданию перспективных изделий РКТ с участием ведущих предприятий-разработчиков и изготовителей изделий, разрабатываются программы и планы стандартизации РКТ. В программы включаются согласованные по срокам задания на разработку, пересмотр национальных и отраслевых ДС, которые, в свою очередь, должны устанавливать сбалансированные, взаимоувязанные требования к качеству конечной продукции, качеству необходимых для ее производства сырья, материалов, комплектующих изделий, оборудования, оснастки, инструмента, а также требования к методам производства, испытаний и контроля.

В рамках реализации программ и планов стандартизации РКТ проводятся работы по ведению, поддержанию и развитию фонда ДС РКТ в области технологии машиностроения, ведение которых закреплено за ФГУП «НПО «Техномаш».

Данные работы направлены на решение следующих отраслевых задач:

- развитие и совершенствование нормативно-технического обеспечения производства изделий РКТ для поддержания заданного уровня качества;
- координация работ по стандартизации, проводимых предприятиями-изготовителями РКТ, и реализация единой технической политики в области стандартизации и технического регулирования по закрепленным направлениям;



– обеспечение соответствия показателей и норм, устанавливаемых в ДС РКТ и других нормативных документах по закрепленной тематике, требованиям научно-технического уровня и действующего законодательства.

В настоящее время за ФГУП «НПО «Техномаш» как головной научно-исследовательской организацией по направлению технологий создания РКТ и метрологическому обеспечению ее производственно-технологической базы закреплено ведение более 1400 документов по стандартизации РКТ в области технологии машиностроения, что составляет около 40% всего фонда ДС Госкорпорации «Роскосмос».

В состав ДС РКТ в области технологии машиностроения входят общетехнические и организационно-методические стандарты, нормативы, правила, стандарты типовых технологических процессов, средств технологического оснащения и др.

По тематическим направлениям ДС РКТ в области технологии машиностроения распределяются следующим образом:

- заготовительное производство (литье, листовая и объемная штамповка, термообработка, производство трубопроводов);
- механообрабатывающее производство (обработка резанием, электрофизическая и электрохимическая обработка, алмазная и лазерная обработка);
 - сварочное производство, пайка;
- сборочное производство (общая, агрегатная и узловая сборка, промышленная чистота, производство гироскопов, покрытия);
- методы и средства контроля и испытаний, неразрушающие методы контроля;
 - технологическое обеспечение производства;
 - метрологическое обеспечение РКТ;
 - организационно-методическое обеспечение.

Основной задачей разработки и актуализации документов по стандартизации РКТ является обеспечение соответствия действующих документов современным требованиям науки и техники в целях поддержания технологических и производственных процессов на современном уровне.

В 2019 г. проведена оценка научно-технического уровня 71 ДС РКТ. Проведены исследования по актуализации 152 ДС РКТ с выпуском изменений.

Разработаны новые документы:

- СТО ГК Роскосмос «Требования к организациям-изготовителям космической техники». Настоящий стандарт устанавливает требования к условиям соответствия производства организации-изготовителя космической техники, установленным в организационнотехнических национальных и отраслевых документах (документах по стандартизации) при сертификации производств;
- СТО ГК Роскосмос «Система стандартизации Госкорпорации «Роскосмос». Фотои видеодокументирование процессов при изготовлении и эксплуатации изделий ракетно-космической техники. Основные требования». Стандарт предназначен для применения на предприятиях РКП в части применения фото- и видеодокументирования при выполнении критичных и особо ответственных технологических процессов (операций) изготовления и эксплуатации изделий РКТ.

В 2020 г. проведена оценка научно-технического уровня 135 ДС РКТ. Проведены исследования по доработке 157 ДС РКТ с выпуском изменений.

Разработаны новые документы:

- ГОСТ Р «Ракетно-космическая техника. Сварка лазерная тугоплавких металлов и сплавов на их основе. Типовой технологический процесс». Настоящий стандарт распространяется на детали и сборочные единицы в изделиях РКТ, изготовленные из тугоплавких металлов и сплавов на их основе. Стандарт устанавливает основные типы, конструктивные элементы сварных соединений деталей, изготавливаемых из тугоплавких металлов и типовой технологический процесс лазерной сварки. Стандарт предназначен для разработки рабочих технологических процес-



сов в соответствии с требованиями, установленными в нормативных документах на РКТ;

- ГОСТ Р «Ракетно-космическая техника. Система отработки технологических процессов создания изделий. Основные положения». Настоящий стандарт устанавливает основные положения, определяющие организацию, правила и методы отработки технологических процессов изготовления изделий на стадиях опытно-конструкторских работ, опытно-технологических работ, постановки продукции на производство, при серийном производстве, в случае необходимости внесения изменений.

В 2019–2020 гг. выполнены следующие основные доработки ДС РКТ:

- введены дополнительные требования, обеспечивающие поддержание и повышение качества и надежности разрабатываемых и изготавливаемых изделий РКТ, обеспечение соответствия технологических процессов изготовления изделий РКТ требованиям КД и ТД;
- требования к метрологическому обеспечению приведены в соответствие положениям Закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», постановлению Правительства Российской Федерации от 31.10.2009 № 879, стандартам государственной системы обеспечения единства измерений, РМГ 29–2013 «Метрология. Термины и определения»;
- актуализированы обозначения расходных материалов в соответствии с действующими документами по стандартизации;
- графический материал приведен в соответствие требованиям ЕСКД;
- введены дополнения в части применения современного технологического оборудования, средств измерений и контроля;
- уточнены требования безопасности и охраны труда в соответствии с современными нормативными документами;
- исключены устаревшие требования и терминология;
 - уточнены редакционные неточности;
- построение и изложение стандартов приведено в соответствие требованиям ГОСТ 1.5–2001;

 уточнены ссылочные нормативные документы.

Однако количество стандартов, разрабатываемых вновь, а также взамен существующих ДС РКТ, недостаточно, учитывая годы выпуска действующих ДС РКТ. Работа по разработке и переизданию ДС РКТ сдерживается существующими в настоящее время нормативами трудоёмкости и лимитами финансирования.

В соответствии с действующими нормативами разработка национального стандарта ГОСТ Р или СТО ГК Роскосмос объёмом 40 листов составляет около 900 н/ч, что критически недостаточно, учитывая необходимый объем работ. Примером могут служить отраслевые стандарты, пересмотр которых жизненно необходим:

- ОСТ 92–0300–92 «Промышленная чистота. Общие требования»;
- ОСТ 92–0215–85 «Организация работ по выявлению и устранению несоответствий, дефектов, отказов изделий»;
- ОСТ 92-1527-89 «Изделия отрасли. Методы испытаний на герметичность с применением масс-спектрометрических течеискателей».

Выполнение требований, указанных в данных стандартах, непосредственно влияет на качество и надёжность РКТ.

В связи с утверждением и введением в действие с 01.12.2018 на территории Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц» целесообразно переиздание ОСТ 92-0300-92 в СТО ГК Роскосмос, что потребует сбора большого объёма данных от организаций РКП в части параметров и контроля промышленной частоты в процессе производства РКТ, её систематизация, проведение лабораторных исследований с последующим анализом полученной информации, поскольку ОСТ 92-0300-92 устанавливает требования к разработке КД и ТД. Указанный объем работ требует значительных финансовых затрат



и большого количества времени, которые в существующих нормативах не предусмотрены.

Аналогичная проблема с переработкой ОСТ 92–1527–89 в СТО ГК Роскосмос. После появления современных цифровых течеискателей стандарт требует переиздания. Необходима апробация нового оборудования, что подразумевает его приобретение или аренду.

Проблему с переизданием ОСТ 92–0300–92 и ОСТ 92–1527–89 в СТО ГК Роскосмос, а также других значимых для отрасли стандартов, разработанных в 1960–1990 годах, могло бы решить поэтапное включение этих работ в технические задания на новые НИР с выделением отдельного финансирования.

Рябчиков Павел Вячеславович – заместитель директора центра ФГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

тел. 8–495–689–95–94, доб. 23–09. E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Круглов Игорь Александрович – и.о. заместителя директора центра Φ ГУП «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

тел. 8–495–689–95–94, доб. 23–09. E-mail I.Kruglov@tmnpo.ru

Тарасов Вадим Вячеславович – руководитель направления $\Phi \Gamma Y \Pi$ «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева.

тел. 8–495- 689–96–22. E-mail VV.Tarasov@tmnpo.ru

Выделение отдельного финансирования на переиздание ДС позволит:

- увеличить эффективность работ по переизданию действующих ДС РКТ;
- обеспечить организации РКП ДС, в которых отражены современные достижения науки и техники, что позволит повысить качество изготовления изделий РКТ;
- внедрить в производство прогрессивные технологии изготовления материалов, ДСЕ, а также современные методы измерений, испытаний и контроля;
- автоматизировать технологические процессы изготовления, сборки и испытаний изделий РКТ.

Ryabchikov Pavel Vyacheslavovich – Deputy Center Director of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

tel. 8–495–689–95–94, ext. 23–09. E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Kruglov Igor Aleksandrovich – Acting Center Director of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

tel. 8–495–689–95–94, ext. 23–09. E-mail I.Kruglov@tmnpo.ru

Tarasov Vadim Vyacheslavovich – Area Head of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasyev.

tel. 8-495-689-96-22. E-mail VV. Tarasov@tmnpo.ru



Для заметок

