

1938 - 2022



АО «НПО «ТЕХНОМАШ»

ИМ. С.А. АФАНАСЬЕВА»

ВЫПУСК № 4 (21)
2022

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

«НПО «ТЕХНОМАШ»

Перспективные средства технологического
оснащения для СВС-баротермии
с.4

ТЕХНОЛОГИИ - ПРОВЕРЕННЫЕ КОСМОСОМ

УЛЬТРАПРЕЦИЗИЦИОННАЯ
ОБРАБОТКА ХРУПКИХ
ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
с.14

Концептуальные вопросы развития
производственно-испытательной базы
ракетно-космической промышленности
с.55



РОСКОСМОС

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

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

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

Члены редакционной коллегии:

В.Г. Бещев, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
И.Ф. Буханова, д-р техн. наук
С.М. Вайцехович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
В.А. Корнилов, канд. техн. наук
Д.А. Муртазин, канд. техн. наук
М.А. Назаренко, канд. физ.-мат. наук, доц.
Л.М. Овечкин, канд. техн. наук
Б.И. Омигов, канд. техн. наук
К.Д. Пантелеев, канд. техн. наук
В.В. Степанов, канд. техн. наук, доц.
А.В. Цырков, д-р техн. наук, проф.
Ю.Г. Шаргин, канд. техн. наук

Выпускающий редактор

Г.А. Аношкина

Макет обложки

А.А. Сляднев

Компьютерная верстка

А.С. Аболихина

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

ISSN 2712-7966

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

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

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

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

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

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

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

АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»

Телефон: +7 (495) 689-95-04, факс: +7 (495) 689-73-45

E-mail: info@tmnp.ru, web-site: <http://www.tmnp.ru>



Уважаемые коллеги!

Создание современных образцов ракетно-космической техники и новейшего вооружения в интересах безопасности нашего государства неизбежно требует решения ряда проблемных технологических задач в цикле производства конечного изделия. АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» как головное научно-производственное предприятие Госкорпорации «Роскосмос» по технологическому обеспечению создания ракетно-космической техники активно занимается научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами в области специальных машиностроительных технологий, координацией работ организаций ракетно-космической промышленности по формированию и мониторингу выполнения мероприятий государственных программ, а также осуществляет технологический аудит предприятий. Результаты деятельности публикуются на страницах научно-технического журнала «Вестник «НПО «Техномаш».



В этом номере вниманию читателей представлены наиболее актуальные, передовые технологические и конструкторские решения: получение качественных и надежных сварных соединений трубопроводов, обработка хрупких материалов и постобработка деталей, получаемых методом аддитивных технологий.

Также в журнале широко рассматриваются направления технологического развития ракетно-космической промышленности. В частности, освещаются проблемные вопросы и пути развития технологического обеспечения и производственно-испытательной базы предприятий, предложена методика определения производительности труда на основе статистической базы отчетности организаций и методология проектно-операционного управления, обеспечивающая единовременное управление множеством процессов проектно-производственной среды предприятия.

Завершают номер статьи, посвященные стандартизации, сертификации, качеству и метрологии, в которых рассматриваются проблемные вопросы подготовки опытного и серийного производства изделий ракетно-космической техники, и представлены результаты выполнения АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» Программы работ по стандартизации ракетно-космической техники в 2022 году. Необходимо отметить, что в отрасли идет масштабная ревизия этой области знаний. По сравнению с 2021 годом количество проведенных изменений документов по стандартизации увеличилось в 1,7 раза, что является рекордным показателем за последние семь лет.

Вестник «НПО «Техномаш» открыт для учёных, научно-технических работников и специалистов предприятий ракетно-космической промышленности и профильных вузов.

Главный редактор
научно-технического журнала «Вестник «НПО «Техномаш»



Г.В. Боровский

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

<i>Вайцехович С.М.</i> Перспективные средства технологического оснащения для СВС-баротермии.....	4
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	---

ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И ПАЙКИ

<i>Орин С.В., Кочергин С.А.</i> Сварочные головки типа ГНС – 140АМ и ГНС – 600М для автоматической сварки монтажных стыков трубопроводов из нержавеющей сталей.....	11
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

<i>Боровский Г.В., Маслов А.Р.</i> Ультрапрецизионная обработка хрупких оптических материалов.....	14
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

НОВЫЕ БАЗОВЫЕ И КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Кузин А.И.</i> К вопросу использования твердофазного ионного обмена для финишной постобработки деталей, получаемых методом аддитивных технологий.....	24
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП

<i>Лукьянчик В.В., Николаев В.Д.</i> Анализ тенденций инновационного развития ракетно-космической промышленности при изменении стратегических направлений деятельности.....	27
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Цырклов А.В., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С., Цырклов Г.А., Ермохин Е.А., Буйлов Д.С.</i> Адаптация средств проектно-операционного управления к условиям проектно-производственной среды АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».....	35
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Кондратенко А.Н.</i> Концептуальные вопросы развития производственно-испытательной базы ракетно-космической промышленности.....	55
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Кондратенко А.Н.</i> Методологические аспекты определения функциональных зависимостей производительности труда и трудоемкости при создании и производстве профильной продукции ракетно-космической промышленности.....	70
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ

<i>Круглов И.А., Тарасов В.В., Сумбуров С.А., Ионов А.Г.</i> Результаты выполнения плана работ по стандартизации с учетом новых требований системы стандартизации Госпорпорации «Роскосмос».....	76
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Лобанов А.В., Лобастов М.М., Шмелева А.Н.</i> Подготовка опытного и серийного производства ракетно-космической техники. Основные требования.....	80
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----



CONTENTS

BLANK PRODUCTION TECHNOLOGIES

Vaitsekhovich S.M.
Advanced jigs, fixtures and tools for SHS-Barothermy 4

WELDING AND BRAZING PROCEDURES

Orin S.V., Kochergin S.A.
Weld heads GNS-140AM and GNS-600M
types for automatic welding of erection joints of stainless steel pipelines 11

SPECIFIC TYPES OF TECHNOLOGY

Borovskii G.V., Maslov A.R.
Ultra-precision processing of brittle optical materials 14

NEW KEY AND CRITICAL TECHNOLOGIES

Kuzin A.I.
On the use of solid-phase ion exchange for finishing
post-processing of parts produced by additive technologies 24

MODERN REQUIREMENTS AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF AEROSPACE ENTERPRISES

Lukianchik V.V., Nikolaev V.D.
Analysis of trends in the innovative development of the aerospace industry
with changes in the strategic areas of activity 27

Tsyrkov A.V., Rakhmievich E.G., Iurtsev E.S., Tsyrkov G.A., Yermokhin E.A., Builov D.S.
Adaptation of design-operational management tools to the conditions
of the design-production environment of JSC «Afanasev» «NPO «Technomac» 35

Kondratenko A.N.
Conceptual issues of production
and test base development in the aerospace industry 55

Kondratenko A.N.
Methodological aspects of determining the functional dependences
of labor productivity and labor intensity in the creation
and production of aerospace core products 70

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND METROLOGY

Kruglov I.A., Tarasov V.V., Sumburov S.A., Ionov A.G.
Results of the standardization work plan with respect to the new requirements
of State Space Corporation Roscosmos standardization system 76

Lobanov A.V., Lobastov M.M., Shmeleva A.N.
Preparation of pilot and serial production of aerospace equipment.
Basic requirements 80

УДК 621.762.4.043: 546.07: 536.46.002

*Вайцехович С.М.
Vaitsekhovich S.M.*

Перспективные средства технологического оснащения для СВС-баротермии

Advanced jigs, fixtures and tools for SHS-Barothermy

Представлена оригинальная конструкция пресс-формы, позволяющая по мере горения исходных реагентов при СВС-баротермии направлять образующиеся газы на предварительное уплотнение продукта синтеза. Рассмотрены примеры работы пресс-формы и механизм стартового уплотнения для получения синтетической заготовки с заданной пористостью.

An original design of the die is presented that makes it possible to direct the resulting gases for the preliminary densification of the synthesis product as the initial reagents burn during SHS-barothermy. Examples of the die operation and the starting densification mechanism for obtaining a synthetic blank with a given porosity are considered.

Ключевые слова: СВС-баротермия, пресс-форма, стартовое уплотнение.

Keywords: SHS-barothermy, die, starting densification.

Введение

Развитие технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в известной мере определяет перспективы создания новых материалов, способных работать в условиях повышенных температур, ударных нагрузок и интенсивного трения, обладающих высокой химической стойкостью к агрессивным средам.

СВС-технология включает технологические операции: подготовку шихтовой экзотермической смеси, её брикетирование, инициирование реакции горения (синтеза), деформирование продукта синтеза, термообработку синтетической заготовки.

Процесс зажигания исходных экзотермических реагентов потоком лучистой энергии [1] в режимах непрерывного [2] или импульсного потоков [3] рассмотрен во многих работах, в основном связанных с влиянием условий зажигания на развитие спутной инверсной волны фильтрационного горения [4], процессов воспламенения с использованием диаграмм состояния [5].

Подъем давления в камере сгорания исходных реагентов обусловлен нагревом газа, заключенного в поровом пространстве с газовыделением адсорбированных газов и составляет порядка 10 атм:

$$\frac{p}{p_0} \cong \frac{T_n}{T_0}, \quad (1)$$

где p – давление, развиваемое в поровом пространстве при нагреве; p_0 – начальное давление; T_n – температура, реализуемая в СВС – процессе $T_n \cong 3000^\circ K (2700^\circ C)$ [6-8]; T_0 – начальная температура и $T_0 \cong 293^\circ K (20^\circ C)$; $\frac{p}{p_0} \cong 10$.

Как правило, смеси исходных реагентов перед инициированием реакции горения предварительно брикетируют. Брикет экзотермической смеси горит в узкой зоне шириной 0,05...1,5 мм, фронт горения распространяется в глубину с различной скоростью в зависимости от начальной плотности материала и последовательно проходит весь объем заготовки. Находящиеся перед фронтом горения частицы материала прогреваются и при достижении температуры 400...900°C начинается экзотермическая реакция. Интенсивность горения протекает в течение 0,1 с, и температура частиц повышается за это время на 2000...3000°C. После прекращения реакции горения температура снижается на 300...400°C, и в условиях полной тепловой изоляции ее значения выравниваются по всему объему.

Одним из недостатков оборудования, реализующего деформирование продукта синтеза, является недостаточная герметизация продукта син-



теза (большой теплоотвод в окружающую среду), что приводит к неполноте химических превращений и окислению продукта синтеза. В случае, когда скорость деформирования превышает скорость прохождения волны горения, избыточное давление ведёт к обратимости реакции горения и термодинамической неполноте превращения. Поэтому для стабилизации горения перед компактированием продукта синтеза используют временную выдержку, которая восстанавливает термодинамическое равновесие и смещает химическую реакцию в сторону образования целевого продукта. Таким образом, регулируя скорость охлаждения, можно ликвидировать неполноту реакции превращения, связанную с термодинамическими факторами, что ограничивает возможности силового воздействия на повышение качества конечного продукта. На поверхности изделия, контактирующего со стенкой штампового инструмента, появляется слой непрореагировавшего

исходного реагента с различной степенью неполноты превращения. Поэтому отходы прессования составляют 50–65% [9].

Исходя из специфики продукта горения, заключающейся в фазовой разнородности различных элементов объёма (зон прогрева, горения, догорания, зоны вторичных физико-химических превращений), и скоротечности фазовых превращений, передел СВС-технологии, относящийся к деформированию продукта синтеза, разделён на этапы: стартовое уплотнение продукта синтеза и деформирование синтетической заготовки до требуемой пористости.

Объединение двух технологических переделов (иницирование реакции горения и деформирование продукта синтеза) обусловлено возможностью использования в ограниченном пространстве двух естественных процессов (одновременного повышения давления и температуры) и получило название «СВС-баротермия».

Конструкция пресс-формы

В СВС-баротермии волновой характер горения твёрдых химических реагентов в режиме теплового взрыва сопровождается выделением большого количества тепла и летучих продуктов. Стартовое уплотнение (послойное уплотнение) происходит параллельно химическому превращению исходных реагентов и сопровождается потерей продольной устойчивости продукта синтеза с выделением большого количества тепла [10, 11].

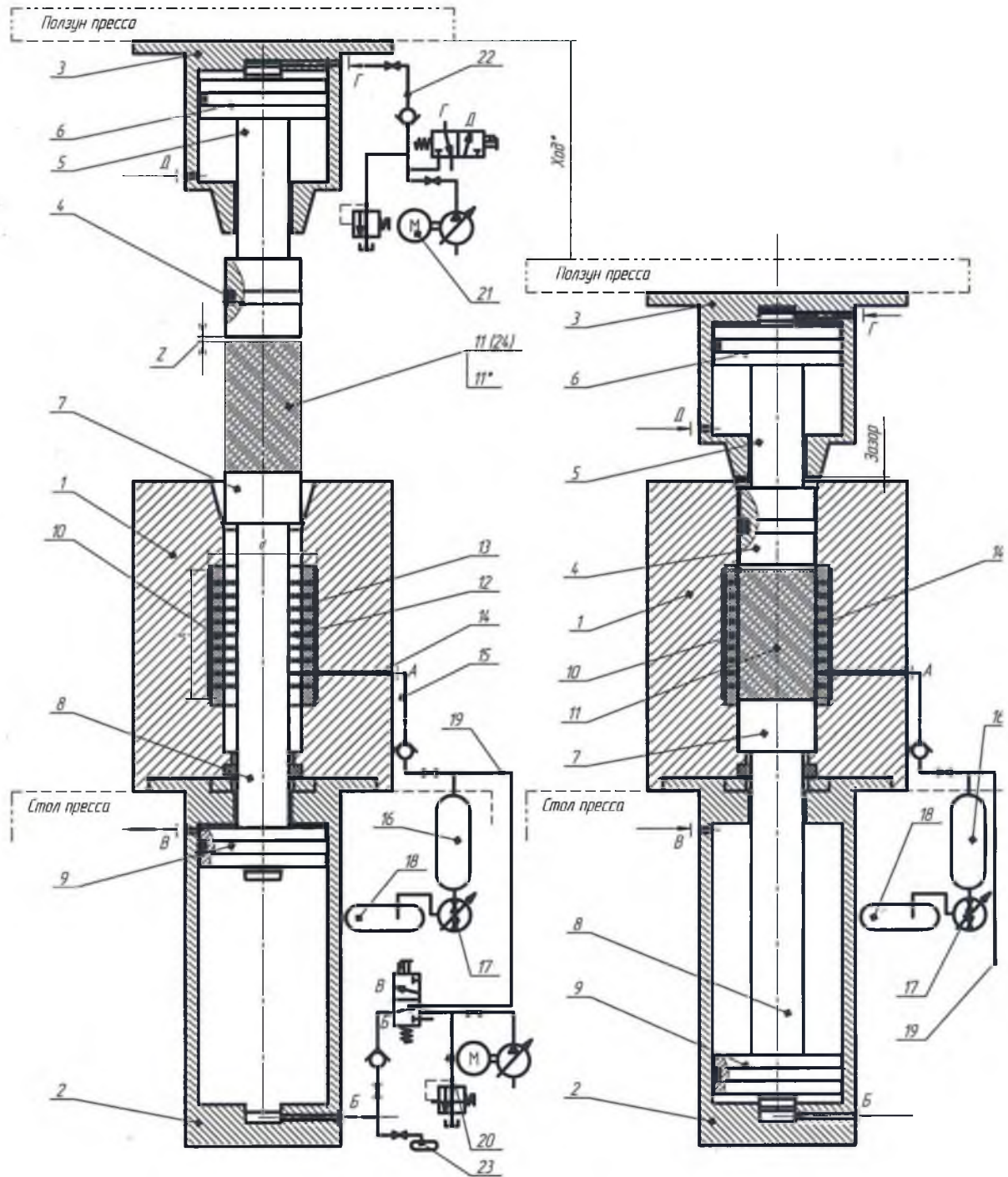
При деформировании часть тепла от продукта синтеза нагревает более холодные стенки пресс-формы, что приводит к снижению температуры синтезированной заготовки. Перед началом деформирования температурное поле в продукте синтеза неравномерное, что является неблагоприятным фактором для обеспечения оптимальных условий формообразования. При деформировании с уменьшением объёма удельная теплопроводность и теплоёмкость продукта синтеза увеличиваются, температурное поле выравнивается [12].

На рис. 1 и 2 представлена предлагаемая автором схема пресс-формы для стартового уплотнения (баротермии) продуктов синтеза. Устройство состоит из контейнера 1, нижнего пневмоцилиндра 2 и верхнего пневмоцилиндра 3. К верхнему пневмоцилиндру 3 прикреплён верхний пуансон 4, опирающийся на шток 5 плунжера 6, к нижнему пневмоцилин-

дру 2 прикреплён нижний пуансон 7, опирающийся на шток 8 плунжера 9. Верхний 4 и нижний 7 пуансоны расположены внутри матрицы 10, перфорированной отверстиями. В матрицу 10 помещают брикет порошковой заготовки из реакционной смеси 11, горение которой сопровождается экзотермическим эффектом с выделением летучих продуктов синтеза (примесные газы) и получением промежуточного продукта синтеза 11*.

Матрица 10 имеет радиальные каналы 12 для фильтрации газов, а контейнер 1 – полость 13 размером $d \times h$, выполняющую роль газосборника, и канал 14, соединяющий эту полость посредством газовой магистрали 15 с пневмобаком 16, в котором постоянно поддерживается остаточное давление ниже атмосферного за счёт регулируемого вакуумного насоса 17. Сборник давления 18 соединён через пневмомагистраль 19 с системой нагнетания 20 пневмоцилиндра 2, на который опирается нижний пуансон 7.

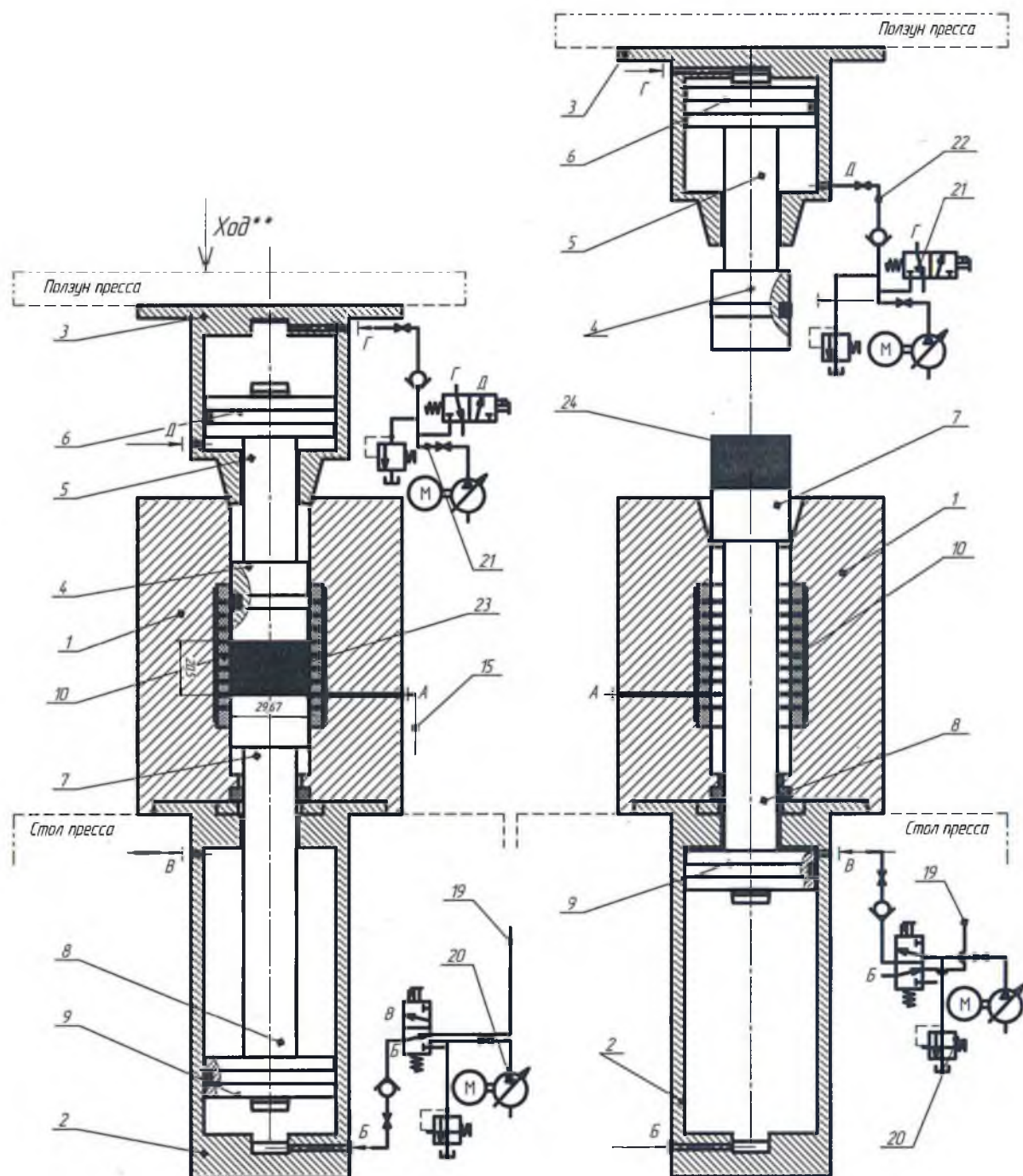
Верхний пуансон 4 при помощи штока 5 и плунжера 6 приводится в движение системой нагнетания 21, которая через пневмомагистраль 22 поддерживает в пневмоцилиндре 3 постоянное давление, превышающее атмосферное. При возвращении пуансонов в исходное положение примесные газы, скопившиеся в полости пневмоцилиндров, утили-



а) момент загрузки исходной заготовки

б) момент начала иницирования режима горения
исходной заготовки

Рис. 1. Схема расположения заготовки в пресс-форме стартового уплотнения [13]:
z – технологический зазор; ход* – перемещение брикета в реактор-матрицу 10 пресс-формы;
11* – промежуточный продукт синтеза



а) момент окончания прессования синтетической заготовки

б) момент извлечения синтетической заготовки

Рис. 2. Схема извлечения синтетической заготовки из пресс-формы стартового уплотнения:
ход** – допрессовка синтетической заготовки

зируются в специальные вакуумные баки 23. После извлечения отпрессованной детали 24 (рис. 2 б) нижний пуансон 7 остаётся в верхнем положении. Для проведения компактирования на его верхний торец устанавливают заготовку из реакционной смеси 11.

Пресс-форма оснащена манометрами, датчиками давления (не показано) для регистрации работы пневмосистем, реагирующими на перепад давления при термосинтезе заготовки (рис. 1 а), прессовании детали (рис. 2 а) и удалении отпрессованной детали из матрицы 10 (рис. 2 б).

Пресс-форма работает следующим образом:

- пресс-форму устанавливают на пресс, ползун которого служит для прижима верхнего пневмоцилиндра к контейнеру и удерживания этого соединения до извлечения отпрессованного изделия (синтетической заготовки);
- шихтовую заготовку 11 в виде спрессованного брикета из экзотермических реагентов установ-

ливают на нижний пуансон 7 внутрь матрицы 10, перфорированной отверстиями;

- нижний пуансон 7 в случае использования насыпной заготовки располагают в крайнем нижнем положении, а порошковую экзотермическую шихту 11 высыпают в полость, образованную нижним пуансоном 7 и стенкой перфорированной матрицы 10;
- ползун прессы вместе с верхним пневмоцилиндром 3, верхним пуансоном 4, нижним пуансоном 7 и шихтовой заготовкой 11 перемещают вниз в исходное положение начала термосинтеза и накрывают верхним пуансоном 4, замыкая контейнер 1 конической ответной частью верхнего пневмоцилиндра 3, создавая при этом герметичный замкнутый объём для полости 13.

Пресс-форма стартового уплотнения может использоваться для получения беспористой синтетической заготовки, например для получения режущего инструмента [12], синтетической заготовки с заданной пористостью и подшипников скольжения [10].

Получение беспористой синтетической заготовки

В объёме матрицы 10 и газосборнике 13 создаётся отрицательное давление за счёт вакуумного насоса 17, набора давления в рабочей зоне пневмоцилиндров 2 и 3, а также за счёт индивидуальных систем нагнетания 20, 21. Поэтому на заготовку из реакционной смеси 11 во время прохождения теплового взрыва, а также на продукты синтеза 11* оказывают постоянное давление пуансоны 4 и 7.

По окончании горения проводится силовая допрессовка продуктов синтеза 11* до получения конечного продукта – монолитной, беспористой синтетической заготовки 24. Когда в пневмобаке 16 посредством вакуумного насоса 17 остаточное давление воздуха будет меньше атмосферного, то после инициирования реакции горения в исходных реагентах сопутствующие газы, образующиеся в процессе синтеза, нагреваются до температур порядка 300К и через радиальные каналы (отверстия перфорированной матрицы 10) скапливаются в газосборнике 13 и по каналу 14 через газовую магистраль 15 поступают в пневмобак 16.

По мере прохождения волны горения сверху вниз в исходной заготовке давление газов увеличивается на порядок, при этом синтетическая заготовка в узком интервале времени в синтезированном участке имеет низкую прочность и легко уплотняется

под давлением верхнего, образуя синтетический продукт (состав: карбиды, бориды, силициды), в зависимости от исходных реагентов, которые при остывании кристаллизуются.

Перемещение продукта синтеза (стартовое уплотнение) относительно образующих боковых стенок пресс-формы уменьшает высоту контакта стенки пресс-формы с продуктом синтеза, что позволяет исключить «сваривание» заготовки с инструментом, сократить теплоотвод и уменьшить силовой режим прессования. Для заготовок средних размеров массой до 1 кг, высота которых по отношению к условному диаметру составляет единицу или более, снижение осевой нагрузки прессования уменьшает вероятность образования дефектов и повышает стойкость деформирующего инструмента.

Вследствие высокого тепловыделения и в результате реакции горения температура продуктов синтеза значительно возрастает, что естественным образом создаёт оптимальные условия для формообразования и спекания структурных элементов синтетической заготовки.

Если не проводить послыйную подпрессовку, то в конце стадии горения на разных уровнях высоты продукта синтеза формируются области с различными физико-химическими свойствами материала



синтетической заготовки, в том числе по высоте продукта синтеза увеличивается разница в локальной пористости, устранить которую средствами «отложенного» силового воздействия не представляется возможным.

По окончании процесса синтеза и структурирования синтетической заготовки стартовым уплотнением производят её допрессовку путём перемещения верхнего пневмоцилиндра 3 ползуном пресса (рис. 2 а, ход**) с последующей временной выдержкой под давлением.

В качестве примера работы пресс-формы стар-

тового уплотнения рассмотрен способ получения фильеры диаметром 30 мм и высотой 20 мм для волочения проволоки диаметром 9 ± 3 мм [13].

Массовый состав шихты: титан – 56%, никель – 20%, молибден – 10%, остальное – технический углерод. Из синтетической заготовки методами термообработки, электроэрозионной резки и шлифовки изготовлена фильера для волочения проволоки диаметром 3 мм. Физико-механические свойства полученной фильеры: плотность $\rho = 6,3$ г/см³, прочность $\sigma_{сж} = 500$ кгс/мм², $\sigma_{из} = 160 \div 170$ кгс/мм², твердость 91-93 HRA, ударная вязкость $\gamma = 0,15$ кгс·м/см².

Получение синтетической заготовки с заданной пористостью

В газосборнике 13 создаётся остаточное давление воздуха из-за перемещения примесных газов в рабочие полости пневмоцилиндров 2 и 3, затем вентиль пневмобака 16 перекрывается. После иницирования реакции горения газы, образующиеся в процессе синтеза, перетекают по газовой магистрали 19 в рабочие полости пневмоцилиндров 2 и 3 и оказывают давление на плунжеры пневмоцилиндров, которые перемещают пуансоны. Устанавливается равновесие между давлением газа внутри синтезируемой заготовки и давлением пуансонов. Равновесие давлений способствует установлению баланса, обеспечивающего образование заданных геометрических размеров пор внутри синтезируемой заготовки. Так как поверхность матрицы перфорирована отверстиями, внутри синтезированной заготовки не происходит скопление газовых пузырей, разрывающих заготовку изнутри, поэтому газы, скопившиеся в газосборнике, свободно перемещаются по газовым магистралям. По мере необходимости системы нагнетания 20 и 21 могут производить подкачку давления или разряжать пневмобак 16 посредством насос-мотора 17 в газовой магистрали 19.

Регулирование давления прессования позволяет получать синтетическую заготовку с заданной пори-

стостью, что существенно расширяет номенклатуру получаемых деталей.

Отношение площадей поперечных сечений полости пневмоцилиндра и полости матрицы должно быть не менее 1 и не более 50. При отношении < 1 – не происходит передача силового давления со стороны пневмоцилиндров в матричную полость. При отношении площадей > 50 – давление в пневмоцилиндрах не будет обеспечивать уплотнение неостывшего синтетического продукта из-за того, что объём летучих продуктов горения недостаточен для создания нужного давления газов в объёме полостей гидроцилиндров, матрицы и газовой магистрали.

По окончании формирования синтетической заготовки ползун пресса поднимают, при этом верхний пуансон занимает исходное верхнее положение, а нижний пуансон выталкивает синтетическую заготовку наверх.

В качестве примера работы пресс-формы стартового уплотнения получены подшипники скольжения 204 габаритных размеров 47x20x14 мм.

Весовой состав шихты: Al (ACD-1) – 9%; Fe (ПЖ) – 4%; Ni (ПНЭ-1) – 4%; Cu (ПМС -1 ГОСТ 4960-75) – 83%. Пористость заготовки подшипника составила $P = 20-25\%$, усреднённая плотность $\rho = 5,66 - 6,04$ г/см³.

Выводы

1. Разработана инновационная пресс-форма стартового уплотнения продуктов горения для получения методом СВС-баротермии тугоплавких, труднодеформируемых материалов и изделий на их основе.

2. В разработанной пресс-форме спутные га-

зы, образующиеся в результате СВС-процессов, не выбрасываются в атмосферу, а утилизируются в вакуумные ёмкости.

3. Стартовое уплотнение повышает физико-механические свойства синтетических заготовок и позволяет регулировать их пористость.

Библиографический список

1. Блошенко В.Н. Воспламенение и горение гетерогенных систем с торможением конечными продуктами. Проблемы тепло- и массопереноса в поточных, газогенераторах и химических реакторах. – Минск, 1988 – С. 15–22.
2. Александров В.Е. и др. Исследование особенностей воспламенения конденсированных сред с поглощающими добавками при концентрированном подводе лучистой энергии. – ФГВ. – 1983. №4. – С. 17–20.
3. Короткевич И.И. и др. Инициирование реакции СВС-импульсным излучателем лазера. – ФГВ. 1981. – №5. – С. 61–67.
4. Гуревич И.Г. и др. Влияние условий зажигания на развитие спутной инверсной волны фильтрационного горения в коротких пористых образцах. Физико-химические процессы в неравновесных системах. – Минск: ИТМО АП СССР, 1986. – С. 89–98.
5. Некрасов Е.А. Исследование процессов воспламенения и горения гетерогенных безгазовых систем с использованием диаграмм состояния: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.17 / Некрасов Евгений Александрович. – Новосибирск, 1980. – 18 с.
6. Азарян Т.С., Мальцев В.М. и др. – ФГВ. – 1976. – т. 13. – №2. – С. 286–287.
7. Зенин А.А., Мержанов А.Г., Нерсисян Г.А. Исследование структуры тепловой волны в СВС-процессах на примере синтеза боридов. – Препринт: Черноголовка. – ФИХФ АН СССР, 1980. – 27 с.
8. Основы практической теории горения под ред. В.В. Померанцева. – Энергия: Ленинградское отделение, 1973. – 312 с.
9. Вайцехович С. М. Теория и технология получения изделий методами СВС-баротермии на основе моделирования процессов накопления повреждений / С. М. Вайцехович, В.М. Михалевич, В.А. Краевский // Порошковая металлургия. – №1/2, 2013. – С. 3–10. – ISSN 0032-4795.
10. Вайцехович С.М., Мишулин А.А. Исследование процессов уплотнения продуктов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и разработка оборудования для его силового компактирования. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1993. – №7. – С. 5-8.
11. Вайцехович С.М. Нанотехнологические аспекты СВС-баротермии / С.М. Вайцехович // Энциклопедия ФГУП «НПО «Техномаш». Новые наукоёмкие технологии в технике. Под редакцией А.Н. Котова, т. 29. – М.: ЭНЦИТЕХ, 2011. – С. 310–331.
12. Вайцехович С.М. Технология изготовления твердосплавных режущих пластин методом СВС-баротермии / С.М. Вайцехович, В.М. Михалевич, В.А. Краевский // Порошковая металлургия. – 2013. №3/4. – С. 20–26. – ISSN 0032-4795.
13. Патент на изобретение № 2 566 101 В22F 3/23 Устройство для прессования экзотермической шихтовой заготовки. / Вайцехович С.М, Кужель А.С., Степанов Л.С. и др. №2014126662/02; от 02.07.2014; опубл. 20.10.2015. Бюл. №29.

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

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

УДК 621.791

Орин С.В., Кочергин С.А.
Orin S.V., Kochergin S.A.

Сварочные головки типа ГНС–140АМ и ГНС–600М для автоматической сварки монтажных стыков трубопроводов из нержавеющей сталей

Weld heads GNS-140AM and GNS-600M types for automatic welding of erection joints of stainless steel pipelines

Представлены результаты разработки сварочных головок нового поколения для автоматической сварки монтажных стыков трубопроводов из коррозионностойких сталей. Обозначена область их применения и приведены отличительные особенности новых сварочных головок.

The results of the new generation weld heads development for automatic welding of erection joints of stainless steels pipelines are presented. The scope of their application is outlined and the specific features of the new weld heads are given.

Ключевые слова: сварочные головки, автоматическая сварка, орбитальная сварка трубопроводов.

Keywords: weld heads, automatic welding, orbital pipeline welding.

Создание современных образцов ракетно-космической техники и новейшего вооружения в интересах безопасности нашего государства неизбежно сопряжено с решением ряда технологических задач в цикле производства конечного изделия. Важнейшей технологической задачей в данном цикле является возможность получения качественных и надежных монтажных сварных соединений трубопроводов, удовлетворяющих требованиям отраслевой научно-технической документации [1].

Анализ монтажных стыков трубопроводов показал, что наибольшее количество дефектов в сварных соединениях возникает, когда сварка выполняется в условиях стесненного монтажа отдельных исполнительных узлов и агрегатов. Также количество дефектов увеличивается при монтаже с применением сварки трубопроводов, расположенных в различных пространственных положениях [2].

Учитывая, что применение в указанных случаях ручной сварки сопряжено с нестабильностью качества сварных соединений, единственным верным и высокоэффективным методом получения неразъемных соединений в монтажных условиях является автоматическая орбитальная сварка специализированными сварочными головками (далее – СГ).

По сравнению с ручной сваркой автоматический процесс ведет к повышению производительности. Применение СГ гарантирует повторяемость результатов сварки и обеспечивает получение качественных и надежных сварных соединений.

АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» разрабатывает и изготавливает СГ, начиная с 70-х годов XX века, в связи с чем сформирован значительный задел, позволяющий выполнять узкоспециализированные задачи для сварки изделий ракетно-космической техники [3]. Постоянный уровень модернизации, использование современных методов проектирования, применение новых материалов, комплектующих, а также современных технологий при изготовлении позволяют получать СГ, удовлетворяющие современным требованиям.

Одним из таких примеров может являться разработка и изготовление в 2022 году новых СГ типа ГНС–140АМ и ГНС–600М для автоматической сварки монтажных стыков трубопроводов из нержавеющей сталей. СГ получили надежную, современную конструкцию (рис. 1) и полностью удовлетворяют требованиям ОСТ 92-1602, который является основным регламентирующим документом по разработке орбитальных СГ в космической отрасли.

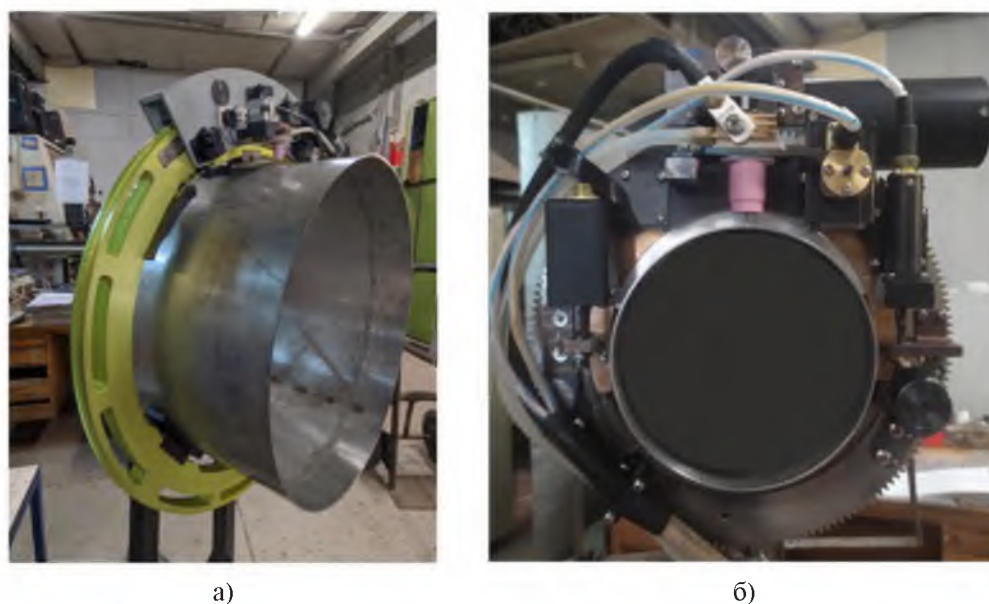


Рис. 1. Общий вид сварочной головки:
а – типа ГНС – 600М; б – типа ГНС – 140АМ

Основные преимущества вновь созданных СГ:

- применение в конструкции из высокопрочных конструкционных материалов;

- уменьшение массогабаритных характеристик в полтора-два раза в сравнении с предыдущими аналогами СГ данного типоразмера;

- возможность их установки в условиях плотной, стесненной компоновки исполнительных узлов и агрегатов.

Основной исполнительный элемент СГ – сварочная горелка с воздушным охлаждением – спроектирована с учетом обеспечения повышенной

защиты сварного шва от окисления за счет применения специальных газовых линз, обеспечивающих ламинарность газового потока.

Узлы приводов (осевого и радиального) перемещения СГ выполнены в двух вариантах: на базе двигателей постоянного тока и на базе шаговых двигателей. Возможность замены узлов позволяет эксплуатировать СГ с двумя типами блоков управления автоматическим процессом сварки. Технические характеристики СГ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики сварочных головок

Тип сварочной головки	ГНС–600М	ГНС–140АМ
Наружный диаметр свариваемого соединения, мм	от 520 до 600	от 105 до 140
Свариваемый материал	нержавеющие стали	нержавеющие стали
Минимальная установочная база, мм	88	74,5
Ширина вращающихся частей, мм	150	113
Радиус вращающихся частей, мм	444	132
Осевое перемещение сварочной горелки, мм	±11	±10
Радиальное перемещение сварочной горелки, мм	45	±10
Скорость сварки, м/ч	5-15	5-15
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2;3	2;3



Опция автоматической регулировки напряжения сварочной дуги (АРНД)	есть	есть
Опция колебания сварочной горелки	есть	есть
Максимальный сварочный ток в импульсном режиме, А	200	200
Приводы механизмов сварочной головки	шаговые двигатели/ двигатели постоянного тока	шаговые двигатели/ двигатели постоянного тока
Габариты, мм	840×795×160	103×264×470
Масса, кг	16	6

Разработанные и изготовленные СГ успешно внедрены в АО «РКЦ «Прогресс».

Библиографический список

1. Сварочная отрасль России: как преодолеть зависимость от импорта // РИТМ Машиностроения. –2022. – №7. – С. 17–23
2. Чичков С.А. Илюшкин В.Ю. Новое поколение малогабаритных головок для орбитальной сварки трубопроводов диаметром 25-45 и 45-70 мм // Вестник «НПО «Техномаш». –2017. – №3. – С. 22–24.
3. Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Техномаш», 60 лет / Ю.В. Бабарин и др.: под ред. В.В. Булавкина, Е.А. Гончарова. – Москва, 1998. – 351 с.: ил.

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

Тел.: 8(495) 689-10-46. E-mail: s.orin@tmnp.ru
 Orin Sergei Vladimirovich – Department Head of Welding Equipment Engineering of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
 Tel.: 8(495) 689-10-46. E-mail: s.orin@tmnp.ru

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

Тел.: 8(495) 689-95-45. E-mail: s.kochergin@tmnp.ru
 Kochergin Sergei Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Director of Research and Technology Center of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
 Tel.: 8(495) 689-95-45. E-mail: s.kochergin@tmnp.ru

УДК 621.9:539.21

Боровский Г.В., Маслов А.Р.
Borovskii G.V., Maslov A.R.

Ультрапрецизионная обработка хрупких оптических материалов

Ultra-precision processing of brittle optical materials

В статье проанализированы современные методы обработки хрупких материалов и выявлены недостатки промышленной технологии. В качестве одного из методов обработки предложена технология квазипластического резания. Рассмотрены основные принципы конструирования ультрапрецизионного оборудования, параметры его основных узлов и технология обработки хрупких оптических материалов.

The article analyzes state-of-the-art methods of processing brittle materials and reveals the deficiencies of industrial technology. Quasi-plastic cutting technology has been proposed as one of the processing methods. The basic principles of ultra-precision equipment design, the main units' parameters and the processing technology for brittle optical materials are considered.

Ключевые слова: ультрапрецизионная обработка, хрупкие оптические материалы, наноразмерная обработка, режим квазипластического резания.

Keywords: ultra-precision processing, brittle optical materials, nanoscale processing, quasi-plastic cutting mode.

Введение

Современная промышленность все чаще нуждается в технологиях, позволяющих обрабатывать хрупкие материалы, в число которых входят кристаллы с оптическим качеством поверхности [1, 2]. Зачастую показатели, отвечающие за качество обработанных деталей, должны быть на порядок выше заявленных, однако отсутствие методов обработки и оборудования необходимого класса точности приводит к тому, что производитель вынужден довольствоваться той шероховатостью и точностью формы деталей, которые могут быть обеспечены традиционными методами обработки.

Сегодня хрупкие материалы обрабатываются при помощи шлифования и полирования. Этот трудоемкий процесс осуществляется в несколько стадий и может занимать от нескольких дней до нескольких недель. Как правило, обработка ведется в следующей последовательности: поверхность обрабатываемой детали шлифуется абразивными кругами с постепенным снижением зернистости, а далее деталь дорабатывается полированием в агрессивной среде. Таким образом, обработка поверхности детали совмещает в себе обработку связным и свободным абразивом. Несмотря на то, что описанный выше метод используется на протяжении долгого периода времени и показал

себя достаточно эффективным, все же он имеет существенные недостатки:

1. Полировальный круг прижимается к обрабатываемой детали с определенным усилием, что приводит к выкалыванию частиц обрабатываемого материала и образованию трещин на обрабатываемой поверхности. Последующая обработка только увеличивает скорость распространения трещин и вызывает в итоге лавинообразное образование трещиноватого (поврежденного) слоя.

2. Из-за довольно тесного взаимодействия абразивного и обрабатываемого материалов велика вероятность шаржирования обработанной поверхности, что приводит к визуальным дефектам. Эта проблема особо остро стоит для поверхностей оптических деталей.

3. Традиционная схема обработки неспособна обеспечить шероховатость поверхности менее 20 нм и точность формы менее 200 нм. Эти максимально достижимые показатели качества поверхности идут вразрез с современными требованиями.

4. Традиционная схема обработки обладает низкой производительностью. Проблема производительности является особо острой для крупногабаритных деталей.



5. Традиционную схему трудно адаптировать для деталей произвольных (асферических) форм.

6. Применение химических сред при полировании деталей необходимо, однако при этом страдает не только окружающая среда, но и наносится вред здоровью персонала.

Квазипластичное резание

Заменой традиционного метода обработки может служить обработка в квазипластичном режиме. Основой этого метода является способность обрабатываемого материала при определенных условиях в зоне резания менять свои свойства. Хрупкие материалы при специально созданном в зоне резания высоком давлении ведут себя как пластичные и могут быть обработаны с показателями качества, которые достижимы только при обработке металлов и их сплавов.

Например, при обработке кварцевого стекла, кристаллы группы дигидрофосфата калия KH_2PO_4 (сокращенное название – KDP) и германия резание в квазипластичном режиме позволяет достигнуть шероховатости поверхности не более 1 нм и точности формы не более 10 нм. Метод позволяет обрабатывать как плоские поверхности, так и поверхности произвольной (асферической) формы.

Квазипластичный режим резания обеспечивается целым рядом факторов. В их число помимо необходимой критической толщины срезаемой стружки, обеспечиваемой режимными параметрами процесса (подачей и глубиной резания) и геометрическими параметрами режущего инструмента, входят технические характеристики оборудования [3, 4].

Для квазипластичного режима обработки необходимо обеспечить:

1. Толщину срезаемой стружки обрабатываемого материала ниже критической, то есть в пределах 10...100 нм (в зависимости от свойств обрабатываемого материала). При этой толщине стружка обрабатываемого материала переходит в другое состояние (стружка скола переходит в сливную стружку), что является основным признаком изменения поведения обрабатываемого материала [4–6].

2. Режимные параметры процесса, а именно подачу и глубину резания в пределах от нескольких нанометров до 1...2 мкм (в зависимости от свойств обрабатываемого материала). В случае если значения режимных параметров не соответствуют

При современном уровне требований к качеству деталей оптической и электронной промышленности перечисленные недостатки весьма серьёзны. Поэтому необходим качественно новый подход к обработке хрупких материалов, который требует более точного современного оборудования.

установленному уровню, достижение критической толщины стружки невозможно, следовательно, обрабатываемый хрупкий материал не переходит в пластичное состояние.

3. Геометрические параметры режущего инструмента. В частности для возникновения высокого давления в зоне резания передний угол режущего инструмента должен быть отрицательным (конкретное значение величины угла определяется экспериментально), а для обеспечения необходимой толщины срезаемой стружки радиус при вершине инструмента должен быть достаточно большим (0,1...2 мм) и радиус округления режущей кромки – 20...800 нм. Такие параметры можно обеспечить только на алмазном монокристаллическом инструменте.

4. Жёсткость станочной системы. Поскольку обеспечение режимных параметров связано не только с показателями дискретности перемещений узлов станка, но и с упругим отжатием режущего инструмента, высокая жесткость станочной системы является одним из решающих факторов.

Таким образом, для квазипластичного режима обработки необходим специальный алмазный монокристаллический инструмент и оборудование повышенной жёсткости.

Основными преимуществами данного метода являются:

1. Возможность обработки таких хрупких материалов, как оптические стекла, германий и кристаллы KDP с достижением параметра шероховатости не более 1 нм и отклонений формы в пределах 10 нм.

2. Возможность обработки деталей любой произвольной формы, в том числе асферической.

3. Возможность уменьшения трещиноватого слоя на обработанных поверхностях. Значительное уменьшение трещиноватого слоя или его отсутствие особо важно для деталей, используемых в электронной промышленности.

4. Процесс обработки в квазипластичном режиме значительно более производителен по сравнению с традиционной технологией обработки, поскольку требуемые показатели качества достигаются посред-

ством одного вида обработки, длительность операции зависит от наследственных качеств заготовки [7, 8].

5. Экологическая безопасность метода квазипластичной обработки.

Создание ультрапрецизионного оборудования

В последние несколько лет проводятся комплексные исследования по разработке и созданию ультрапрецизионного оборудования для обработки широкой номенклатуры материалов. В их число входят закаленные стали, твердые сплавы, цветные сплавы, а также хрупкие оптические материалы.

При создании ультрапрецизионного оборудования использованы следующие основные принципы [9–14]:

1. Применение азростатических направляющих и опор с пористым дросселированием и вакуумным натягом.

2. Использование системы виброизоляции с собственной частотой колебаний не более 5 Гц.

3. Встраивание электроприводов прямого действия на базе двигателей с пониженной виброак-

тивностью, выполняемых с использованием материалов, не содержащих железа.

4. Применение датчиков обратной связи с нанометровым разрешением.

Для обработки плоских поверхностей хрупких кристаллов группы KDP методом алмазного фрезерования создан специальный ультрапрецизионный экспериментальный стенд, представленный на рис. 1.

Стенд предназначен для алмазного микрофрезерования кристаллов группы KDP с шероховатостью поверхности не более 10 нм и точностью поверхности не менее 50 нм на обрабатываемой поверхности размерами 100x100 мм.

Основные параметры стенда для алмазного микрофрезерования приведены в табл. 1.

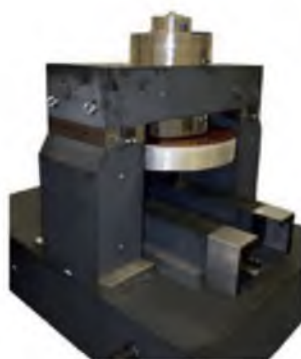


Рис. 1. Специальный ультрапрецизионный стенд для алмазного фрезерования плоскостей кристаллов KDP

Таблица 1. Параметры ультрапрецизионного стенда для алмазного микрофрезерования кристаллов группы KDP

№ п/п	Параметр станка	Значение параметра
1	Число координатных осей: ось X – движение продольного суппорта; ось C – движение шпиндельного узла	2
2	Наибольшее перемещение продольного суппорта (передвижение заготовки), ось X, мм	800
3	Диапазон частот вращения шпиндельного узла, об/мин	20... 600
4	Рабочая подача продольного суппорта, мм/мин	50... 500
5	Дискретность перемещения продольного суппорта, мкм	0,01
6	Мощность электродвигателя шпинделя, кВт	0,7



Экспериментальные исследования показывают, что при использовании алмазного монокристаллического инструмента с радиусом округления при вершине 4...5 мм толщина снимаемой стружки на разных режимах составляет от 20 до 400 нм. Таким образом, стенд может гарантировать при обработке кристаллов группы KDP режим квазипластичного резания.

Для обработки поверхностей сферической и асферической формы деталей из цветных сплавов и хрупких материалов разработан специальный ультрапрецизионный стенд для алмазного точения деталей из хрупких материалов. Общий вид стенда приведен на рис. 2.

Стенд предназначен для ультрапрецизионной обработки методом алмазного точения и фрезерования широкого спектра различных материалов: кристаллы (кремний, германий, арсенид галлия, фториды магния и калия и т.д.), полимеры (поликарбонат, полистирол, акрил и т.д.), металлы (алюминий, серебро, золото, бериллий, медь, платина, свинец, магний, латунь, бронза, никель и т.д.).

Основные параметры стенда приведены в табл. 2.

В 2014 году в рамках темы «Разработка технологии и оборудования наноразмерной обработки алмазным монокристаллическим и абразивным



Рис. 2. Специальный ультрапрецизионный стенд для алмазного точения деталей из хрупких материалов

Таблица 2. Параметры ультрапрецизионного стенда для алмазного точения деталей сферической формы из хрупких материалов

№ п/п	Параметр станка	Значение параметра
1	Габариты обрабатываемых изделий:	
	диаметр, мм	100
	длина, мм	100
2	Наибольшее перемещение продольного суппорта, ось Z, мм	200
3	Наибольшее перемещение поперечного суппорта, ось X, мм	300
4	Диапазон частот вращения шпинделя главного движения, ось S, мин. ⁻¹	50...5000
5	Диапазон частот вращения привода главного движения, ось C, мин. ⁻¹	0...200
6	Диапазон частот вращения шпинделя фрезерно-шлифовальной головки, мин. ⁻¹	0...50000
7	Диапазон рабочих подач продольного суппорта, ось Z, мм/мин.	0...200
8	Диапазон рабочих подач поперечного суппорта, ось X, мм/мин.	0...200
9	Диапазон рабочих подач поворотного стола, ось B, мин. ⁻¹	0...10
10	Дискретность задания перемещения продольного суппорта, мкм	0,001
11	Дискретность задания перемещения поперечного суппорта, мкм	0,001
12	Дискретность задания перемещения поворотного стола, ось B, угловых C	0,01

инструментом оптических материалов в режиме квазипластичного резания» разработан специальный ультрапрецизионный станок, позволяющий производить обработку алмазным абразивным и монокристаллическим инструментом поверхностей раз-

личной, в том числе произвольной формы, деталей из хрупких оптических материалов.

На рис. 3 приведена схема станка с обозначением основных узлов.

Основные параметры станка приведены в табл. 3.

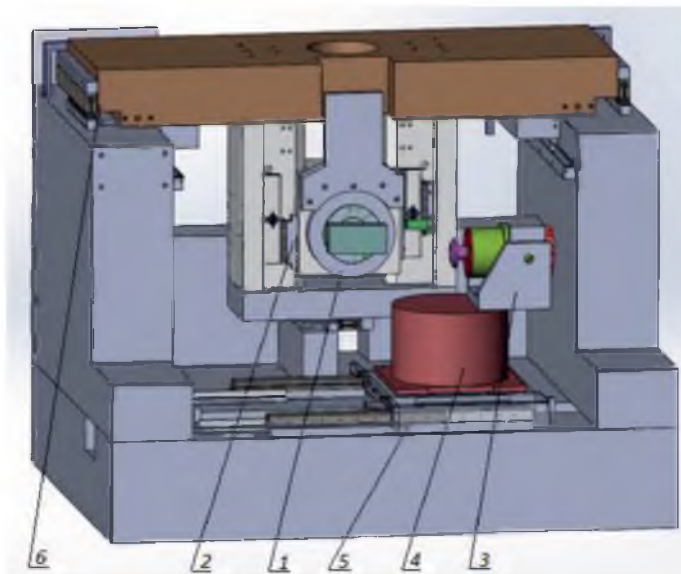


Рис. 3. Ультрапрецизионный станок для наноразмерной обработки алмазным монокристаллическим и абразивным инструментом оптических материалов в режиме квазипластичного резания:

1 – шпиндельная бабка оси Y; 2 – траверса оси Z; 3 – шпиндельная бабка оси C ;
4 – поворотный стол заготовки с осью B; 5 – траверса оси X; 6 – траверса оси Y

Таблица 3. Параметры ультрапрецизионного станка для наноразмерной обработки алмазным монокристаллическим и абразивным инструментом оптических материалов в режиме квазипластичного резания

№ п/п	Параметр станка	Значение параметра
1	Габариты обрабатываемых изделий:	
	длина, мм	210
	ширина, мм	150
	высота, мм	100
2	Наибольшее перемещение продольного суппорта, ось Z, мм	150
3	Наибольшее перемещение поперечного суппорта, ось X, мм	250
4	Наибольшее перемещение вертикального суппорта, ось X, мм	100
5	Диапазон частот вращения шпинделя главного движения, ось S, мин. ⁻¹	50...3000
6	Диапазон частот вращения шпинделя изделия, ось S1, мин. ⁻¹	1...1000
7	Диапазон рабочих подач продольного суппорта, ось Z, мм/мин.	0...100
8	Диапазон рабочих подач поперечного суппорта, ось X, мм/мин.	0...100
9	Диапазон рабочих подач поворотного стола, ось B, мин. ⁻¹	0...10
10	Дискретность задания перемещения продольного суппорта, мкм	0,0001
11	Дискретность задания перемещения поперечного суппорта, мкм	0,0001
12	Дискретность задания перемещения поворотного стола, ось B, угловых с	0,0001



Шлифование в режиме квазипластичного резания

Важным направлением является разработка технологии изготовления плоских, сферических, асферических и произвольных поверхностей методом шлифования в режиме квазипластичного резания.

В составе современных изделий машиностроения, авиакосмической, оптико-механической и электронной промышленности широкое применение находят элементы приборов из изотропных оптических материалов: отражатели, резонаторы, подложки измерительных шкал и др. К таким элементам приборов можно отнести диэлектрические зеркала резонаторов лазерных гироскопов. Качество обработки оптических поверхностей зеркал влияет на долговременную стабильность лазерных гироскопов и точность работы навигационной системы.

Традиционная технология обработки элементов приборов из изотропных оптических материалов предусматривает обработку последовательно связанным, а затем свободным абразивом – химико-механическое полирование в среде полировальной суспензии. К основным недостаткам такой технологии относятся: возникновение поврежденного слоя обработанной поверхности; шаржирование обработанной поверхности абразивными частицами; низкая производительность процесса полирования оптических поверхностей.

В целях изменения технологии, сокращения или исключения операций полирования, травления и ионно-лучевой обработки предлагается использовать алмазное шлифование на сверхточных станках.

Однако для алмазного шлифования остается открытым вопрос о возможности достижения предельных требований по качеству обработки.

Для решения проблемы повышения качества оптических поверхностей элементов приборов и производительности обработки разработана модель, позволяющая сформулировать технические требования к сверхточному оборудованию для практической реализации финишного метода алмазного шлифования.

При обработке оптических изотропных материалов рассмотрены два варианта взаимодействия материала с режущей вершиной алмазного зерна: пластическое деформирование с образованием в зоне контакта пластически деформируемой зоны и хрупкое разрушение [15].

Во время хрупкого разрушения одновременно протекают процессы пластического деформирования и хрупкого скалывания обрабатываемого материала за счет образования трещин. В этом случае силы резания представляют собой сумму давления обрабатываемого материала на переднюю поверхность зерна, сил трения зерна о поверхность материала и сил трещинообразования. Иллюстрация работы алмазного зерна при хрупком характере взаимодействия приведена на рис. 4.

Под зоной контакта зерна и материала образуются трещины, часть из которых распространяется в подповерхностном слое – медианные трещины размером C_m , а часть выходит на обрабатываемую поверхность – боковые трещины размером C_l .



Рис. 4. Схема взаимодействия алмазного зерна и материала

Активный рост размера трещины происходит при выполнении условия «хрупко-пластичного» перехода. Если нормальная сила, действующая на обрабатываемый материал от единичного зерна при шлифовании, превышает критическое значение, то имеет место хрупкое разрушение материала. Значение критической силы определяется соответствующей критической толщиной срезаемого слоя на единичное зерно.

С учетом условия «хрупко-пластичного» перехода и износа алмазного зерна тангенциальная F_{τ} и радиальная $F_{\text{ра}}$ составляющие силы резания, действуют на единичное алмазное зерно. Толщина срезаемого слоя a_z должна быть больше критической при хрупком характере взаимодействия зерна и материала и меньше при пластичном деформировании.

Для обеспечения условий пластичного деформирования материала и уменьшения глубины трещиноватого слоя предложена схема плоского шлифования [1]. Для реализации схемы использован алмазный круг с шириной алмазного слоя 50 мм диаметром 150 мм, установленный с углом наклона 1...4 градуса при частоте вращения круга

1 000 мин⁻¹, частоте вращения заготовки 0,2 мин⁻¹, глубина резания 1...2 мкм. Использование указанного шлифовального круга с алмазным зерном размером 2 мкм при продольной подаче не более 0,05 м/мин и поперечной подаче не более 0,0006 м/мин позволяет получить шероховатость обработанной поверхности Ra менее 10 нм при условии износа алмазных зерен не менее 50 нм.

Уменьшение размера алмазного зерна увеличивает количество работающих зерен в зоне шлифования и, как следствие, уменьшает толщину срезаемого слоя на единичное зерно a_z и шероховатость обработанной поверхности в направлении поперечной подачи. Использование алмазных кругов с зернистостью 3/2 мкм (узкий диапазон) по ГОСТ 9206-80 «Порошки алмазные. Технические условия» при применении схемы плоского шлифования периферией с наклоном оси круга позволяет обеспечить условия преимущественно пластичного деформирования материала.

Схема плоского шлифования исследована при плоском алмазном шлифовании периферией круга заготовок из ситалла СО115М и кварцевого стекла КУ-1.

Оборудование для квазипластичного шлифования

В целях исследования процесса алмазного шлифования оптических поверхностей создан сверхточный экспериментальный стенд. В состав стенда входят: шлифовальный шпиндель, шпиндель заготовки, продольный суппорт, поперечный суппорт, система виброизоляции, система индикации врезания, система подачи и сбора смазочно-охлаждающей жидкости. Конструктивной особенностью стенда являются шпиндель изделия и шлифовальный шпиндель, выполненные на базе подшипников с газовой смазкой, что обеспечивает величину радиального биения исполнительных поверхностей не более 0,5 мкм и жесткость не менее 100 Н/мкм. Система индикации стенда позволяет оценить величину врезания инструмента с точностью до 0,1 мкм.

Суппорты стенда выполнены с пористым дросселированием для подачи газовой смазки и оснащены дополнительной системой демпфирования колебаний на основе сверхвязкой жидкости, а система виброизолирующих опор обеспечивает собственную частоту колебаний не менее 1 Гц.

Для реализации режимов шлифования и кинематической схемы плоского шлифования с наклоном

оси круга проведена модернизация шпинделя изделия с обеспечением частоты вращения в диапазоне от 0,05 до 1 мин⁻¹. Шпиндельная бабка круга разворачивается на регулировочных винтах (диапазон угла наклона оси составляет от 0 до 3 градусов).

Для алмазного шлифования заготовок из ситалла и кварцевого стекла разработана гамма шлифовальных кругов для чистовой обработки:

а) круги на металлических связках формы 12А2 45° с размерами 75×21×20×6×3 мм из алмазного порошка марки АСМ зернистостью 3/2 мкм;

б) круги на органической связке марки Б1 формы 12А2 45° с размерами 100×21×20×6×3 мм из алмазного порошка марки АСМ зернистостью 3/2 мкм с концентрацией 100%;

в) круги по технологии многослойного композиционного электролитического покрытия с зернистостью алмазного порошка 3/2 мкм.

Фотография зоны шлифования образца из ситалла на сверхточном экспериментальном стенде с использованием схемы плоского шлифования периферией с наклоном оси круга на 1,5 градуса приведена на рис. 5.





Рис. 5. Зона шлифования образца из ситалла СО115М на сверхточном экспериментальном стенде

На основании экспериментальных исследований по выбору параметров алмазных кругов рекомендуются следующие значения: коническая фаска на поверхности круга под углом, равным углу наклона оси $\beta=1,5^\circ$; ширина алмазоносного слоя – не менее 50 мм; марка алмазного порошка АСМ, зернистость 3/2 мкм, концентрация 150%; связка круга – бакелитовая марки Б1.

В результате достигнуты следующие результаты: шероховатость оптической поверхности составляет:

- для ситалла СО115М Ra 9 нм, Rz 44 нм;
- для кварцевого стекла КУ-1 Ra 11 нм, Rz 34 нм (рис. 6);
- глубина трещиноватого слоя составляет 20...50 нм.

На основании результатов исследований, выполненных на сверхточном экспериментальном стенде, установлено, что для уменьшения шероховатости до значений $Ra < 10$ нм (оптический класс шероховатости) требуется использовать сверхточный станок, обеспечивающий осевое биение исполнительных поверхностей шпиндельных узлов не более 0,1 мкм и жесткость шпиндельных узлов не менее 400 Н/мкм.

Разработан технологический процесс обработки оптических поверхностей подложек диэлектриче-

ских зеркал, который позволяет сократить время механической обработки на 58% (с 604 до 253 минут) с приведенными выше параметрами качества оптической поверхности.

Для реализации операций предложенного технологического процесса разработан и изготовлен сверхточный станок модели «СФЕРА-100» со следующими характеристиками: наклон оси шлифовального круга в диапазоне от 0 до 90° ; жесткость шпинделя заготовки и шлифовального шпинделя на подшипниках с газовой смазкой – 400 Н/мкм; биение поверхностей шпиндельных узлов не более 0,1 мкм; индикация подачи врезания до 0,1 мкм; частота вращения шпинделя заготовок в диапазоне от 0,01 до 0,5 об/мин. [16].

Схема станка (рис. 7) обеспечивает реализацию плоского шлифования периферией с наклоном оси круга. Наклон реализован за счет поворотного стола (ось В), на котором установлен фрезерно-шлифовальный шпиндель с точностью позиционирования до 0,004 угловых минут.

Подача заготовок S_{prod} обеспечивается вращением шпинделя оси С с частотой n_2 ; круг вращается с частотой n_1 ; поперечная подача заготовки S_{pop} обеспечивается перемещением по оси X; подача на глубину резания t обеспечивается перемещением по оси Z.

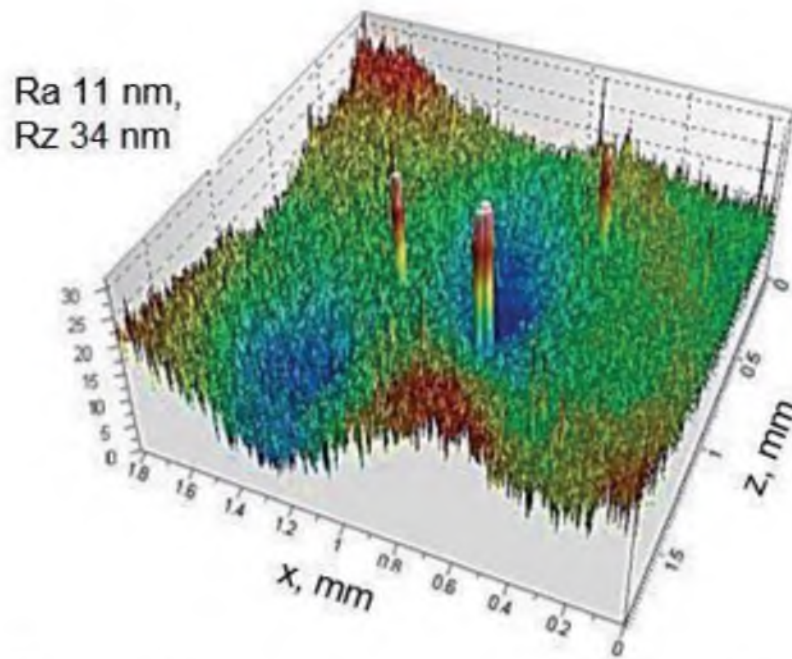


Рис. 6. Топограмма оптических поверхностей из кварцевого стекла KV1

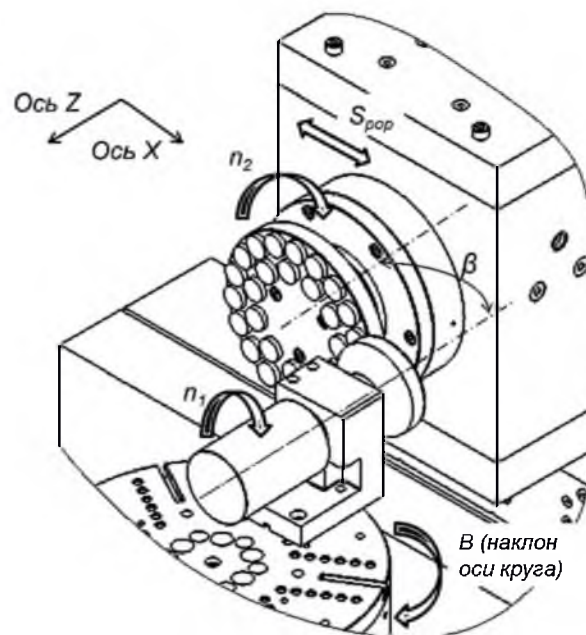


Рис. 7. Схема плоского шлифования периферией с наклоном оси круга на сверхточном станке модели «СФЕРА-100»

Выводы

1. Обработка методами пластичного резания и шлифования с использованием специального инструмента (алмазный круг на металлической связке, резец или фреза) позволяет получить оптическую поверхность высокого качества.

2. Возможна обработка любого хрупкого ма-

териала на поверхностях любой формы (решетки, поверхности свободной формы) с нанометровой точностью и шероховатостью при полном отсутствии нарушенного слоя.

3. Применение метода позволяет исключить операции полировки или свести их к минимуму.



Библиографический список

1. Грибков А.А., Григорьев С.Н., Захарченко Д.В. Развитие зарубежного и российского станкостроения. – М.: Вестник МГТУ Станкин. – 2012. – № 1 (18). – С. 8–11.
2. Бушуев В.В., Сабиров Ф.С. Направления развития мирового станкостроения. – М.: Вестник МГТУ СТАНКИН. – 2010. – № 1 (9). – С. 24–30.
3. Теплова Т.Б. Квазипластичное удаление поверхностного слоя твердых хрупких материалов с получением нанометрового рельефа поверхности// Научный вестник МГТУ – 2010. – №8. – С. 73–88.
4. Bifano T. Ductile-regime grinding: a new technology for machining brittle materials/ T. Bifano, T. Dow, R. Scattergood// Transaction of ASME. – 1991. – vol. 113 №5. – p. 184–189.
5. Toh, S. Fine scale abrasive wear of ceramics by a plastic cutting process, in science of hard Materials / S.B. Toh, R. McPherson, ed. E.A. Almond, C.A. Brookes and R. Warren// Bristol and Boston: Adam Hilger Ltd, 1986. – pp. 865–871.
6. Blake P.N. Ductile regime machining of germanium and silicon/ P.N. Blake, R. Scattergood// Journal of American Ceramic Society. – 1990. – vol. 73. – №4. – p. 949–957.
7. Puttick, K.E. Energy scaling transitions in machining of silicon by diamond/ K.E. Puttick, L.C. Whitmore, P. Zhdan// Tribology International. – 1995. – vol. 28. – p. 349–355.
8. Leung T.P. Diamond turning of silicon substrates in ductile-regime/ T.P. Leung, W.B. Lee// Journal of Materials Processing Technology. – 1998. – vol. 73. – p. 42–48.
9. Хомяков В.С., Кочинев Н.А., Сабиров Ф.С. Исследование динамических характеристик шпиндельных узлов. – М.: Вестник МГТУ Станкин. – 2008. – № 4. – С. 15–22.
10. Bushuev V.V., Molodtsov V.V. Role of the machine tools kinematic structure in ensuring machining precision. – Russian Engineering Research. – 2010. – vol. 30. – № 10. – pp. 1053–1059.
11. Асанов Р.Э., Кузнецов А.П., Косов М.Г. Обеспечение технического уровня мехатронных модулей при их проектировании. – М.: Вестник МГТУ Станкин. – 2012. – №4 (23). – С. 26–30.
12. Zavgrodnii V.I., Kozochkin M.P., Maslov A.R., Sabirov F.S. Influence of the dynamic Characteristics of the tool and the blank on the vibroacoustic monitoring of cutting// Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30. – №9. – pp. 939–943.
13. Maslov A. R. More Precise Milling of Titanium Alloy Polyhedra// Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35. – No. 2. – pp. 113–115.
14. Grigoriev S.N., Kutin A.A., Turkin, M.V. Modelling complex production processes in aerospace industry based on dimensional analysis// Procedia CIRP. – 2013. – Vol. 7. – pp. 473–478.
15. Шавва М.А. Повышение качества оптических поверхностей элементов приборов алмазным шлифованием на сверхточных станках: дис. канд. техн. наук.: 05.02.07: защищена 21.02.2018; утв.06.06.2018 / Шавва Мария Александровна. М., 2017. 184 с. Машинопись.
16. Боровский Г.В., Захаревич Е.М., Шавва М.А. Оборудование для ультрапрецизионной обработки – М.: Фотоника. – 2017. – № 1 (61). – С. 52–57.

Боровский Георгий Владиславович – канд. техн. наук, исполнительный директор АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-02-65. E-mail: G.Borovskij@tmnp.ru
Borovskii Georgiy Vladislavovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Executive Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: 8 (495) 689-02-65. E-mail: G.Borovskij@tmnp.ru

Маслов Андрей Руффович – д-р техн. наук, профессор кафедры МТ-2 «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тел. 8(499) 263-65-03. E-mail: maslovar@bmstu.ru
Maslov Andrei Ruffovich – Doctor of Engineering Science, prof. of MT-2 Department «Instrumental Equipment and Technology» of Bauman Moscow State Technical University.

Tel.: 8(499) 263-65-03. E-mail: maslovar@bmstu.ru



УДК 621.7/9

Кузин А.И.
Kuzin A.I.

К вопросу использования твердофазного ионного обмена для финишной постобработки деталей, получаемых методом аддитивных технологий

On the use of solid-phase ion exchange for finishing post-processing of parts produced by additive technologies

Приведены результаты анализа возможности использования механизма твердофазного ионного обмена для финишной постобработки деталей, получаемых методом аддитивных технологий. Рассмотрены основные направления работ, необходимых для реализации данной технологии в условиях отечественного производства ракетно-космической техники.

The analysis results of the application possibility of the solid-phase ion exchange mechanism for finishing post-processing of parts produced by additive technologies are presented. The main directions of work necessary to implement this technology in the conditions of Russian production of aerospace equipment are considered.

Ключевые слова: аддитивные технологии, финишная постобработка, твердофазный ионный обмен.

Keywords: additive technologies, finishing post-processing, solid-phase ion exchange.

Широко внедряемые в настоящее время аддитивные технологии (АТ), наряду с целым комплексом безусловных преимуществ, обладают определенным недостатком – большими затратами на проведение постобработки, в частности для снижения шероховатости поверхности до нередко требуемых величин порядка десятых-сотых долей микрометра.

Учитывая сложную пространственную конфигурацию конечных изделий (кстати, возможность получения таких структур является наиболее важным преимуществом АТ), процесс их доводки до требуемого уровня шероховатости занимает от 30 до 70% временных затрат и, зачастую, осуществляется вручную [1]. Важно отметить, что в ходе такой обработки деталей, имеющих острые кромки, выступающие углы и другие подобные особенности конечного изделия, происходит изменение их параметров (конфигурации на микроуровне), что может повлиять на целевой функционал.

Применяемые в настоящее время электрохимические методы решения подобных задач сопряжены с применением жидких электролитов, зачастую требующих использования повышенных мер экологической защиты.

В этой связи поиск и внедрение альтернативных технологий, направленных на парирование

отмеченных недостатков, представляется важной и актуальной задачей.

В 2017 году появились работы [2] по использованию метода, так называемого, «сухого» шлифования на основе механизмов ионного обмена между обрабатываемой металлической деталью и твердофазными ионообменными смолами (катионитами) при их активном контакте в электрическом поле. На основе этого эффекта за рубежом уже создан параметрический ряд технологического оборудования, позволяющего на практике решать задачи постобработки деталей различной геометрии (эффективный диаметр рабочей зоны до 500x300 мм).

Учитывая перспективность данного направления постобработки и практическое отсутствие отечественных наработок в этой области, представляется целесообразным детально рассмотреть данный вид технологии постобработки и оценить возможность его адаптации к условиям отечественного промышленного производства.

Рассмотрим возможную схему межфазного ионного обмена в отсутствие жидкого электролита на границе раздела «твёрдое тело – газ» (рис. 1).

Исходя из приведенной схемы, можно заключить, что наиболее склонными к обмену будут атомы металла, расположенные в поверхностных слоях



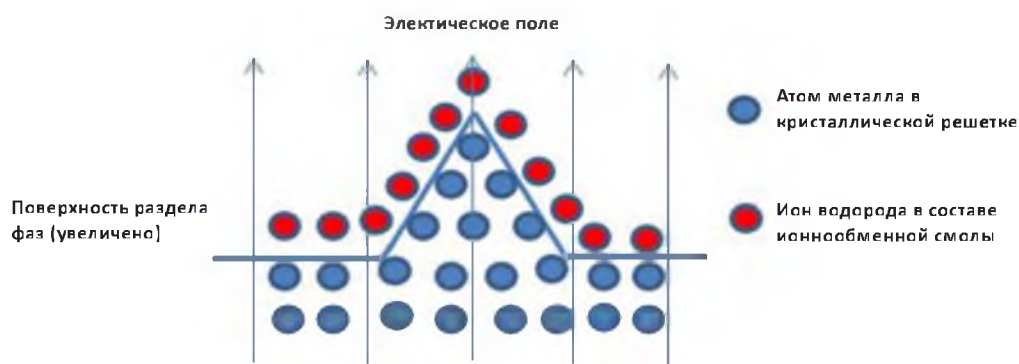


Рис.1. Схема межфазного ионного обмена

на границе раздела фаз «газ–твёрдое тело» и, особенно, в энергетически нескомпенсированных зонах, которыми являются «вершины» и «впадины» поверхности раздела, обуславливающие неровности и шероховатость изделия (детали). Именно на этих участках равнодействующая сил «удерживания» атома металла в кристаллической решетке будет меньше в сравнении с таковой для атомов, находящихся в подповерхностных слоях, где атом металла находится в энергетически скомпенсированном окружении аналогов.

Иными словами, внутри объема твердой фазы (в нашем случае металла) любая единица структуры подобна другой, но на поверхности раздела фаз это условие не выполняется. В наиболее экстремальном случае границы раздела «твёрдое тело–газ» атом на поверхности твердого тела подвержен взаимодействию с атомами собственного слоя и внутренних слоев твердого тела.

Однако выше поверхности существуют только атомы газа, которые могут адсорбироваться на поверхности твердого тела, но силы взаимодействия атомов адсорбента и адсорбтива отличаются на несколько порядков, что и порождает уменьшение величины равнодействующей силы, удерживающей атом металла на поверхности твердого тела. Присутствие электрического поля приводит к появлению дополнительной силы, способствующей интенсификации взаимодействия «ослабленного» приповерхностного атома металла и поляризованного ионообменного агента.

Подобный подход реализации ионного обмена в твердой фазе, минуя использование жидкости в качестве рабочей среды, используется при модификации твердых адсорбентов с фиксированными размерами микропор – цеолитов [3]. Для этой цели

используют сухой порошок цеолита и соль или оксид соответствующего металла, планируемого к введению в структуру сорбента. При модификации цеолитов методом твердофазного ионного обмена удается достичь высоких степеней обмена в одну стадию. Твердофазный ионный обмен во многих случаях оказывается более эффективной альтернативой для обычного ионного обмена в жидкостной среде.

Развивая идею твердофазного ионного обмена применительно к финишной постобработке изделий после аддитивного синтеза, можно сформулировать несколько соображений по расширению спектра применяемых ионообменных агентов.

Исходя из рассмотренного выше механизма твердофазного ионного обмена, можно предположить, что в качестве «поставщика» катионов водорода могут выступать, например, органические двухосновные карбоновые кислоты с оптимальной степенью диссоциации. Примером такого рода соединений могут служить фталевые кислоты в трех изомерных модификациях (орто-, мета-, пара(тере)-). Отличительной чертой этих реагентов является их достаточно высокая температура плавления при нормальных условиях, что предполагает их существование в твердой фазе в рабочем диапазоне температур. Эти соединения доступны, широко применяются в химической промышленности (например, при производстве полиэтилентерефталата («лавсана»)), имеют небольшую стоимость и приемлемые эксплуатационные характеристики (табл. 1).

Совершенно очевидно, что подбор конкретного реагента должен производиться из следующих соображений – химическая активность и трибологические характеристики быть оптимальными для обеспечения необходимой скорости и глуби-

Таблица 1 – Характеристики реагента

Наименование показателя	Величина
Химическая формула	$C_6H_4(COOH)_2$
Температура плавления, $^{\circ}C$	191
Плотность, $г/см^3$	1,593
Константа диссоциации, pK_a	2,95; 5,41

ны постобработки изделия. Эти характеристики, а также параметры электрического поля подбираются экспериментально в рамках специального исследования. Для успешного протекания процесса твердофазного ионного обмена, прежде всего, необходим максимальный контакт твердофазных реагентов.

В существующих промышленных установках это условие реализуется применением достаточно сложной кинематической схемы [1], обеспечивающей интенсивное вращение обрабатываемой детали в среде ионнообменного гранулированного полимера.

Исходя из существующей отечественной практики интенсификации массообменных процессов гетерогенных смесей, с успехом используется технология «кипящего слоя», когда обрабатываемая деталь находится в скоростном потоке взвешенных в газовой фазе частиц «поставщика» катионов. В целом ряде случаев также используется обработка

взаимодействующих агентов ультразвуком, что также может привести к увеличению интенсивности взаимодействия компонентов.

Обобщая изложенное, следует отметить, что исследование процессов твердофазного ионного обмена в электрическом поле может представлять значительный интерес для создания отечественных импортонезависимых технологий постобработки изделий, получаемых методами аддитивных технологий.

В целях практической реализации рассмотренного метода постобработки АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» готово в рамках специальной научно-исследовательской работы и соответствующего целевого финансирования провести экспериментальные и конструкторские проработки метода для обоснования основных технологических параметров процесса и облика средств его технологического оснащения.

Библиографический список

1. Парфенов Д.А., Кузьмин Е. Сухое электрохимическое полирование для обработки после 3Д печати // Аддитивные технологии. – №4. 2019. – С. 36–39.
2. Применение сухого электрохимического полирования в стоматологии и хирургии. [Электронный ресурс] URL: <https://topstanok.ru>. (дата обращения: 10.10.2022).
3. Серых А.И. Формирование, природа и физико-химические свойства катионных центров в каталитических системах на основе высококремнеземных цеолитов: дис. докт. хим. наук: 02.00.04: защищена 11.11.2014: утв. / Серых Александр Иванович. – Москва, 2014. – 347 с. Машинопись.

Кузин Анатолий Иванович – д-р техн. наук, советник генерального директора АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: +7 (499) 689-50-66. E-mail: info@tmnpo.ru
 Kuzin Anatolii Ivanovich – Ph.D. in Engineering, Advisor to the CEO of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
 Tel.: +7 (499) 689-50-66. E-mail: info@tmnpo.ru

УДК 629.7

*Лукьянчик В.В., Николаев В.Д.
Lukianchik V.V., Nikolaev V.D.*

Анализ тенденций инновационного развития ракетно-космической промышленности при изменении стратегических направлений деятельности

Analysis of trends in the innovative development of the aerospace industry with changes in the strategic areas of activity

Рассмотрены проблемные вопросы и пути развития технологического обеспечения при создании и производстве конкурентоспособных изделий ракетно-космической техники. Выявлено, что планирование мероприятий по техническому переоснащению предприятий отрасли на среднесрочную перспективу должно носить системный характер, базируясь на программах инновационного развития головных предприятий-разработчиков финишных изделий и параметрах государственных, федеральных целевых программ в части сроков реализации инвестиционных проектов и выполнения опытно-конструкторских работ.

The problematic issues and ways for development of technological support in the creation and production of competitive aerospace products are considered. It was revealed that the planning of measures for technical re-equipment of the industry enterprises in the medium term should be systematic, based on the programs of innovative development of the leading enterprises-developers of finishing products and the parameters of state, federal target programs in terms of the timeframes of investment projects and experimental design projects.

Ключевые слова: космическая деятельность, ракетно-космическая техника, ракетно-космическая промышленность, инвестиционный проект, промышленная технология, научно-технический задел, качество, бюджетное финансирование.

Keywords: space activity, aerospace equipment, aerospace industry, investment project, industrial technology, technology advance, quality, public funding.

В настоящее время мировой космический рынок претерпевает определенные изменения, связанные с необходимостью расширения частотного диапазона для передачи больших объемов информации (широкополосный доступ в интернет). Тенденция увеличения числа каналов спутниковой связи на одном космическом аппарате (КА) требует значительного повышения их энергетики. Для прямого доступа потребителей к ресурсам спутников связи нового поколения необходимо создание высокоэнергетических платформ на основе крупногабаритных солнечных батарей и антенн.

Несмотря на то, что сегодня на орбитах Земли функционирует около 2200 КА, темпы разработки, производства и запуска новых КА не снижаются, а наоборот, увеличиваются, что обуславливается следующими факторами:

– запуском систем широкополосной спутниковой связи, таких как Starlink (SpaceX), проектом Amazon Kuiper (Telesat LEO) и O3b mPOWER (SES);

– переводом геостационарных спутников связи на новый формат вещания;

– более масштабным использованием правительственными и гражданскими учреждениями данных спутникового мониторинга, в том числе в интересах обеспечения обороноспособности.

На современном этапе развития межгосударственных отношений отчетливо проявляется военно-политическое и экономическое противостояние ведущих мировых держав, в том числе обладающих ядерным оружием и средствами его доставки (ракетными космическими комплексами). При этом центр противоречий при сохранении вероятности развязывания локальных международных конфликтов перемещается в экономическую сферу, для которой характерно возрастание конкурентной борьбы в области развития науки и технологий. Значительно усилившаяся в этой связи конкуренция в космической деятельности требует непрерывного

совершенствования и повышения эффективности разрабатываемых космических средств и промышленных технологий, обеспечивающих их создание.

Ключевыми в развитии конкуренции на мировом космическом рынке являются следующие факторы:

1. Выход на космический рынок новых стран при сохранении традиционного лидерства США, Китая, Европы, России, Японии. Более 60 стран в настоящее время управляют своими собственными спутниками, более десяти стран имеют возможность самостоятельного запуска автоматических КА.

2. Правительственные агентства перестают быть доминирующими операторами космической деятельности, рост роли частных корпораций.

3. Коммерциализация космоса становится одной из доминирующих современных тематик. Развиваются новые направления: космический туризм, космическая энергетика, опытно-промышленное производство полупроводниковых и биологически активных материалов в космосе, промышленная добыча природных ресурсов Луны и астероидов.

4. Растет число космических рисков и угроз (угроза космического мусора, негативное влияние на спутниковые сигналы, нехватка радиочастот и т.д.).

5. Продолжение использования космического пространства в военных целях.

Ракетно-космическая промышленность¹ (РКП) играет ведущую роль в обеспечении военно-экономической безопасности Российской Федерации, оказывая существенное влияние на уровень военного, экономического и научного потенциалов оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Научный потенциал предприятий РКП составляет более 30% научного потенциала ОПК. Одна из важнейших задач, стоящих перед Госкорпорацией «Роскосмос» – поиск новых источников экономического роста РКП; решение этой задачи невозможно без масштабной модернизации промышленности на базе современных технологий, а также создания новых производств, обеспечивающих выход на формирующиеся высокотехнологичные рынки.

Необходимо также отметить усиление в последние годы санкций, проводимых США, странами Евросоюза в отношении ОПК Российской Федерации, в том числе интегрированных структур, выпускаю-

щих продукцию военного и двойного назначения, которые включают:

- ограничение закупок высокотехнологичного оборудования, технологий, специальных материалов и электрорадиоизделий (ЭРИ), используемых при производстве ракетно-космической техники (РКТ), что обуславливает необходимость осуществления предприятиями РКП импортозамещения, и, соответственно, ведёт к дополнительным затратам и увеличению времени на создание конкурентоспособных изделий;

- оказание давления на международных операторов спутниковой связи с целью отказа от пусковых услуг, предоставляемых с помощью ракет-носителей (РН) российского производства (в части РН тяжёлого, среднего и лёгкого классов – производства АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» и АО «РКЦ «Прогресс»), что ведёт к сокращению возможностей организаций по заключению новых контрактов на оказание пусковых услуг на международном космическом рынке.

Также в 2022 году прошли изменения в рамках международного сотрудничества Госкорпорации «Роскосмос» с другими странами, в частности:

- прекращен запуск российских РН типа «Союз-ФГ» с космодрома Куру во Французской Гвиане;
- прекращена совместная деятельность Госкорпорации «Роскосмос» и Европейского космического агентства (ESA) в части ExoMars;

- расторгнут контракт с британской компанией One Web на запуск 36 КА;

- Германией принято решение об отключении немецкого телескопа на обсерватории «Спектр-РГ».

Учитывая вышесказанное, Госкорпорации «Роскосмос» целесообразно скорректировать заявленные ранее направления в сфере космической деятельности России с учетом параметров бюджетного финансирования программных мероприятий государственных и федеральных целевых программ, а также заданий государственного оборонного заказа. В среднесрочной перспективе необходимо сконцентрировать работы по направлениям:

- создание новых типов КА с длительными сроками функционирования на орбите. Разработку и серийное производство новых КА необходимо

¹ Под ракетно-космической промышленностью понимаются производственные, проектно-конструкторские, научно-исследовательские и иные предприятия и организации, находящиеся в ведомственном подчинении Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос»



осуществлять под несколько задач, что существенно снизит их стоимость;

- обеспечение функционирования международной космической станции и проведение научных экспериментов, создание нового пилотируемого корабля и Российской орбитальной служебной станции, основой которой станут четыре модуля: научно-энергетический модуль, узловой модуль «Причал», базовый и шлюзовой модули;

- создание ядерного буксира «Зевс», подготовка и реализация совместно с Китаем лунной программы;

- реализация новой программы «Сфера», которая предполагает запуск более 160 спутников до 2030 года, которые будут заниматься и позиционированием, и зондированием Земли, а также связью;

- цифровая трансформация ракетно-космической отрасли.

Реализация заявленных направлений потребует дальнейшего развития производственной и полигонной базы России, из них в первую очередь:

- оптимизацию производственных площадок и строительства космодрома Восточный, в том числе создание пилотируемой инфраструктуры;

- переход средств выведения на новую линейку РН семейства «Ангара», а также создание РН среднего класса с двигателями на метановом топливе;

- совершенствование глобальной навигационной системы «ГЛОНАСС»;

- диверсификацию производства, осуществление совместных проектов с Госкорпорацией «Росатом» и Госкорпорацией «Ростех» в части создания перспективных космических средств с ядерными источниками электроэнергии (например, энергетической ядерной установки мегаваттного класса) и альтернативных источников энергии, специальных материалов и радиационно-стойкой электронной компонентной базы (ЭКБ);

- обеспечение качества и надежности создаваемой РКТ, в том числе обеспечение импортозамещения стратегически важных материалов и ЭКБ при серийном производстве РКТ.

В целях определения приоритетов инновационного развития РКП рассмотрены и систематизированы сильные и слабые стороны предприятий/организаций РКП при изменении стратегических целей и направлений деятельности Госкорпорации «Роскосмос» в рамках первого и второго этапов Федеральной целевой программы «Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы (далее ФКП–2025) [1] по созданию и производству перспективных изделий РКТ в среднесрочной перспективе (табл. 1).

Таблица 1 – Факторы, влияющие на инновационное развитие РКП при изменении стратегических направлений деятельности Госкорпорации «Роскосмос»

Направление деятельности	Сильные стороны	Слабые стороны
Первый этап ФКП-2025 (2016-2020 годы)		
Уровень производственно-технологической готовности. Научно-технический задел	Достаточно высокий технический уровень средств выведения и высокое качество пусковых услуг	Низкий уровень автоматизации Неполная загруженность производственных мощностей организаций
	Изготовление и запуски пилотируемых кораблей «Союз МС» и грузовых кораблей «Прогресс МС»	В настоящее время наблюдается отставание уровня готовности промышленных технологий по пилотируемой космонавтике от уровня зарубежных компаний
	Возможность запусков КА с трёх космодромов	Узкий сектор применения выпускаемой продукции и зависимость предприятий от бюджетного финансирования
	Многолетний опыт разработки и производства жидкостных ракетных двигателей (ЖРД)	Уменьшение объёмов финансирования перспективных разработок

Технологическая обеспеченность	Возможность производства всего продуктового ряда РКТ	Состояние оборудования характеризуется средним уровнем физического износа
Обоснованность установленных сроков выполнения работ	Зарубежные производители КА обладают технологиями (в том числе цифровыми) для обеспечения создания продукции в более короткие сроки – до 25 месяцев	В настоящее время срок создания КА составляет в среднем от 30/60 месяцев и более в зависимости от назначения и типа КА
Обеспеченность элементной базой	Орбитальная группировка КА по всем направлениям космической деятельности	Анализ отечественных ЭРИ показывает, что зачастую их использование в КА не позволяет обеспечить заданные требования
Второй этап ФКП–2025 (2021–2025 годы)		
Уровень производственно-технологической готовности	По совокупности показателей технологический уровень РН соответствует уровню зарубежных аналогов	Недостаточное качество продукции и услуг, в том числе низкий уровень прогнозных значений показателей надежности РН «Ангара» [2]
Научно-технический задел	Возможность производства всего продуктового ряда РКТ	Недостаточный уровень внедрения на предприятиях современных методов организации и обеспечения производства на основе IT-технологий
Технологическая обеспеченность	Предприятие оснащено преимущественно современным высокотехнологичным оборудованием и требует только точечного дооснащения	Ухудшение социально-экономической ситуации – секвестр бюджетного финансирования, замедление средств в расчетах, снижение процента авансирования
Обеспеченность элементной базой	Обеспечение функционирования орбитальной группировки КА по всем направлениям космической деятельности	Недостаточный номенклатурный ряд собственной электронной компонентной базы
Обоснованность установленных сроков выполнения работ	Возможность запусков КА с трех космодромов	Слабое развитие отечественного рынка операторских услуг
Обоснованность возможности разработки образца с требуемыми характеристиками	Соответствие тактико-технических характеристик (ТТХ) продукции мировому уровню	Достаточно высокий уровень износа основных фондов. Дефицит собственных средств для технического перевооружения предприятий



Как видно из табл. 1 к сильной стороне Госкорпорации «Роскосмос» на первом этапе реализации ФКП–2025 (2016–2020 годы) относятся: многолетний опыт разработки и производства всех типов РКТ (обитаемые блоки космических станций, пилотируемые и автоматические КА, РН и т.д.), высокое качество и надежность РН, полный цикл создания и серийного производства двигательных установок, возможность производства всего продуктового ряда космической техники, возможность запусков автоматических КА с трёх космодромов.

Слабые стороны деятельности Госкорпорации «Роскосмос» – общее технологическое отставание от конкурентов, низкий уровень автоматизации операций технологических процессов, узкий сектор применения выпускаемой продукции, длительный срок создания перспективных изделий РКТ, недостаточный перечень собственной ЭКБ категории Space.

К общим проблемам технологической обеспеченности разработки (производства) РКТ на первом и втором этапах реализации ФКП–2025 можно отнести моральный и физический износ технологического оборудования, используемого в основном производстве. При производстве сложных деталей и сборочных единиц (ДСЕ) не используются в полной мере аддитивные технологии, а также имеются сложности внедрения лазерного оборудования и т.д.

К основным проблемам производственной и технологической базы РКП, которые могут отрицательно повлиять на инновационное развитие РКП в среднесрочной перспективе, можно также отнести:

1. Наличие дублирующих мощностей ряда технологических переделов при их низкой производственной загрузке.

2. Дефицит собственных финансовых ресурсов предприятий РКП на модернизацию и обновление производственных мощностей.

3. Отсутствие системы мониторинга деятельности предприятий для принятия решений по отраслевой специализации и концентрации мощностей.

4. Низкий уровень кооперации и специализации производства, в том числе отсутствие действенной системы предметной унификации изделий.

5. Низкую производительность труда и высокую трудоемкость изделий РКТ, приводящие к высокой себестоимости конечной продукции, и, как следствие, недостаточному уровню ее конкурентоспособности.

6. Высокий уровень износа основных фондов. Количество оборудования в отрасли возрастом свыше 20 лет составляет порядка 70%.

7. Низкий уровень автоматизации разработки новых изделий РКТ, особенно автоматизации механической обработки, как следствие, высокая трудоемкость изготовления изделий РКТ.

8. Отсутствие трансфера технологий между отраслями и внутри отрасли.

Таким образом, при ограниченных объёмах бюджетного финансирования программных мероприятий по космической деятельности важно грамотно расставить приоритеты [3, 4, 5]. Для этого необходимо объективно оценить имеющийся научный, технологический, производственный потенциал организаций/предприятий отрасли, чтобы направить бюджетные средства на проекты, реализация которых наиболее актуальна и способна дать максимальную положительную отдачу с учетом сильных и слабых сторон деятельности Госкорпорации «Роскосмос» [6, 7].

В целях парирования выявленных проблемных вопросов и повышения эффективности решения задач Госкорпорацией «Роскосмос» требуется сформировать и реализовать комплекс организационных, научно-технических и производственно-технологических мероприятий (рис. 1).

Задачи обеспечения реализации мероприятий по техническому переоснащению производств перспективных изделий РКТ должны решаться в рамках нескольких стратегических направлений и предусматривать:

– разработку и внедрение промышленных базовых и критических технологий для формирования опережающего научно-технологического задела в целях создания конкурентоспособной космической техники [6];

– реконструкцию и техническое перевооружение производственной и испытательной базы РКП, в том числе наземно-экспериментальной базы [7].

Исходя из целей и задач, инвестиционные проекты по реконструкции и техническому перевооружению объектов капитального строительства, реализуемые в рамках государственных и федеральных целевых программ, можно распределить по классам «инновация», «рост» и «обновление»:

– к классу «инновация» относятся инвестиционные проекты, направленные на создание новых изделий РКТ с улучшенными ТТХ;

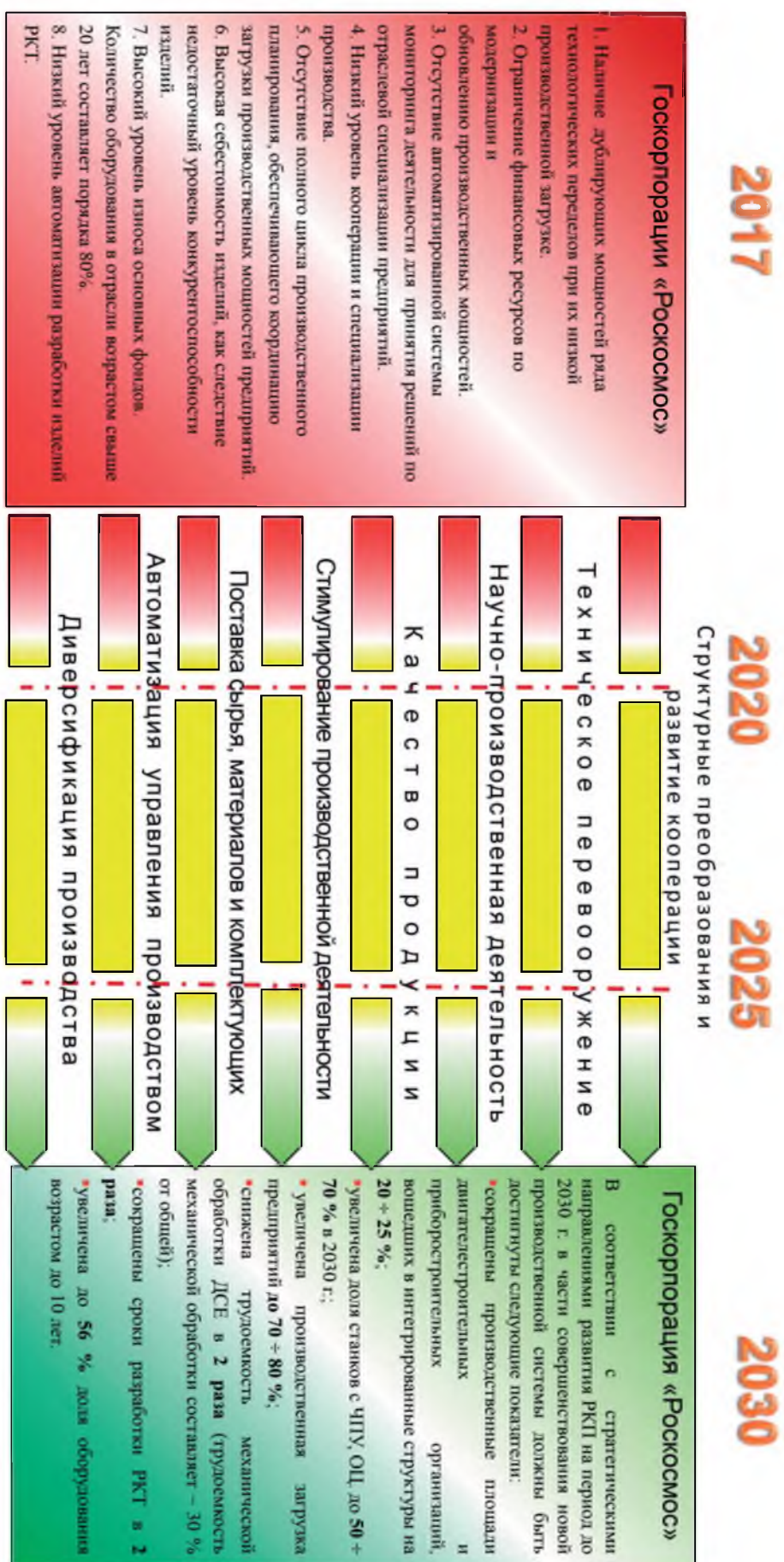


Рис. 1. Направления совершенствования производственной базы РКП



– к классу «рост» относятся инвестиционные проекты, направленные на обеспечение технологической стабильности серийно выпускаемых изделий РКТ, в том числе направленные на снижение трудоемкости изготовления и повышение производительности труда;

– к классу «обновление» относятся инвестиционные проекты, направленные на поддержание инфраструктуры предприятий РКП.

Для ускорения инновационного развития производственной и испытательной базы РКП требуется изменить к 2030 году структуру планирования и реализации инвестиционных проектов в соответствии с параметрами, представленными в табл. 2.

Соблюдение данного соотношения по инвестиционным проектам приведет к росту реализации мероприятий по техническому перевооружению производственной базы РКП и позволит:

– снизить энергоёмкость и материалоемкость изготовления ракетных комплексов среднего и сверхтяжёлого класса;

– увеличить долю высококвалифицированных рабочих мест, повысить производительность труда;

– создать сборочно-испытательные центры автоматических КА увеличенных габаритно-массовых характеристик;

– внедрить технологии цифрового проектирования РКТ;

– внедрить технологии бездефектного производства ДСЕ.

Отставание РКП возможно преодолеть только за счет резкого увеличения бюджетного финансирования программных мероприятий по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, направленным на создание новых конкурентоспособных изделий РКТ, а также на инвестиционные проекты по реконструкции и техническому перевооружению производственной и испытательной базы предприятий РКП.

Поэтапная реализация мероприятий по повышению эффективности функционирования научно-производственной системы РКП позволит достичь в ближайшей перспективе запланированных целевых показателей Госкорпорации «Роскосмос» в части выполнения заданий государственного оборонного заказа и обеспечения гарантированного уровня качества и надежности РКТ.

Таблица 2 – Динамика изменения классификации инвестиционных проектов по реконструкции и техническому перевооружению предприятий

Показатель инновационной деятельности	2020 год (базовый уровень)	2025 год	2030 год
Количество инвестиционных проектов класса «инновация», %	25,0	30,0	38,0
Количество инвестиционных проектов класса «рост», %	5,0	10,0	20,0
Количество инвестиционных проектов класса «обновление», %	70,0	60,0	42,0

Библиографический список

1. Федеральная целевая программа Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы: утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 23.03.2016 №230. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/kosmos/2747297?ysclid=las4z7upfs295737578> (дата обращения: 01.11.2022).

2. Галкин Н.А., Лукьянчик В.В., Николаев В.Д. Анализ влияния загрузки производственных возможностей организаций на уровень качества изготовления изделий космической техники // Тезисы докладов XXII научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 60-летию полёта Ю.А. Гагарина, 75-летию ракетно-космической отрасли и основания ПАО «РКК «Энергия». – ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия имени С.П. Королева», г. Королев. – 2021. – С. 574–576.

3. Российская Федерация. Президент (2008–2012; Д.А. Медведев). Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 07.03.2011 № 899 / Российская Федерация. Президент (2008–2012; Д.А. Медведев). – Доступ из СПС Гарант (дата обращения 09.11.2022). – Текст: электронный.
4. Российская Федерация. Президент (2012–2018; В.В. Путин). О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 / Российская Федерация. Президент (2012–2018; В.В. Путин). – Доступ из КонсультантПлюс (дата обращения 09.11.2022). – Текст: электронный.
5. Гапоненко О.В., Кондратенко А.Н., Лукьянчик В.В. Основные аспекты инновационной деятельности на предприятиях двигателестроения в условиях структурной перестройки ракетно-космической промышленности // Двойные технологии. – 2015. – № 2. – С. 52–57.
6. Кондратенко А.Н. Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2020. – № 2. – С. 21–32.
7. Лукьянчик В.В. Основные аспекты научно-методического подхода по обоснованию системы мероприятий по капитальному строительству для отработки и производства новых изделий ракетно-космической техники // Космонавтика и ракетостроение. – 2022. – № 1 (124). – С. 147–152.

Лукьянчик Владимир Владимирович – канд. техн. наук, доцент, начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: +7(495) 689-95-07

E-mail: lvv@tmnpo.ru

Lukianchik Vladimir Vladimirovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor, Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7(495) 689-95-07.

E-mail: lvv@tmnpo.ru

Николаев Владимир Дмитриевич – канд. техн. наук, главный специалист АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-96-05, доб. 23-27.

E-mail: nvd@tmnpo.ru

Nikolaev Vladimir Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Principal Specialist of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7(495) 689-96-05, ext. 23-27.

E-mail: nvd@tmnpo.ru





УДК 621.01:658.51

*Цырков А.В., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С., Цырков Г.А., Ермохин Е.А., Буйлов Д.С.
Tsyrkov A.V., Rakhmievich E.G., Iurtsev E.S., Tsyrkov G.A., Yermokhin E.A., Builov D.S.*

Адаптация средств проектно-операционного управления к условиям проектно-производственной среды АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»

Adaptation of design-operational management tools to the conditions of the design-production environment of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»

Рассмотрены состав работ и решения по адаптации программно-методического комплекса проектно-операционного управления к условиям реального предприятия. Методология проектно-операционного управления создана как средство, обеспечивающее единовременное управление над всем множеством процессов проектно-производственной среды организации. Использование методологии позволяет сократить цикл создания новых изделий и применить принципы бережливого производства при изготовлении серийной продукции.

The scope of work and solutions for adapting the software and methodological complex of design-operational management to the conditions of the real enterprise are considered. The methodology of design-operational management was created as a means of providing a one-time management over the entire multiplicity of processes of the organization's design-production environment. Using the methodology makes it possible to shorten the cycle of creating new products and apply the principles of lean production in the manufacture of batch products.

Ключевые слова: проектно-операционное управление, методическое обеспечение, организационное обеспечение, техническое обеспечение системы, проектно-производственная деятельность, конструкторско-технологическая база знаний, производственно-технологические данные.

Keywords: design-operational management, methodological support, organizational support, system engineering support, design-industrial activity, design-technological knowledge base, production-technological data.

В 2019 году завершено выполнение прикладной научно-исследовательской-экспериментальной работы (ПНИЭР), основной целью которой являлось создание комплекса информационно-программных средств, обеспечивающих автоматизацию управления высокотехнологичным оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ), технологическими участками на их основе, автоматизированными складами, автоматизированными средствами контроля качества выпускаемой продукции. Работа выполнялась совместно с федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (МИРЭА) и рядом ведущих разработчиков программно-методического обеспечения средств автоматизации управления производством. Основными результатами проекта стало создание программно-методических компонент:

- подсистемы подготовки, контроля и архивации управляющих программ;
- подсистемы прямого управления и мониторинга работы оборудования;
- подсистемы диспетчеризации производства;
- комплексной системы информационной безопасности.

В результате выполненной работы и проектных исследований определена структура «Перспективного комплекса» (далее – Комплекс) управления проектно-производственным предприятием ракетно-космической промышленности (РКП) (рис. 1), которая может быть собрана из четырёх решений, полученных по результатам ПНИЭР, а также трёх дополнительных разработок, компетенциями, в области которых располагает АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» (далее – Общество):



СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

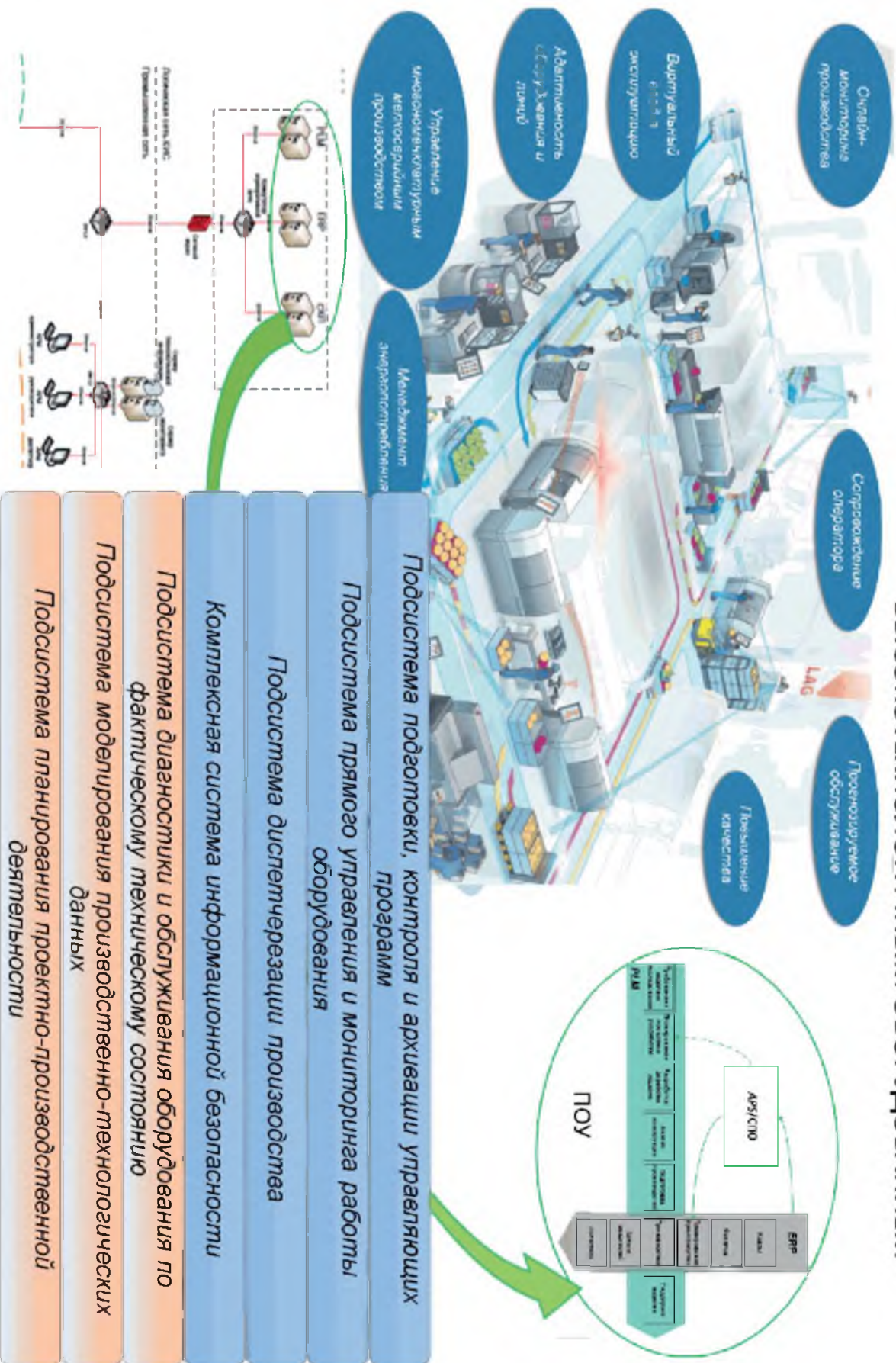


Рис. 1. Схема перспективного решения

- диагностики и обслуживания оборудования по фактическому техническому состоянию;
- моделирования производственно-технологических данных;
- планирования проектно-производственной деятельности.

Подобный набор функционала может претендовать на создание разработки мирового уровня в области систем производственного управления.

Программные решения Комплекса опираются на методологию проектно-операционного управления (ПОУ, [1, 2]), решающего задачи планирования процессов, поддерживаемых как организационно-экономическими системами – *ERP*, так и системами поддержки жизненного цикла – *PLM*.

Применение концепции ПОУ обеспечивает возможность планирования процессов одновременно во всех проектно-конструкторских, технологических, логистических и производственных подразделениях Общества для создания и опытной, и серийной продукции, на единой базе трудовых ресурсов (люди и оборудование) без их принудительного закрепления за какой-либо группой изделий (например, серийного либо опытного производства). Концепция ПОУ обеспечивает формирование единого потока работ на основе конструкторского либо технологического состава изделий, а также проведение анализа состояния потока.

Решения, полученные в рамках ПНИЭР, работают на стадии управления производством (рис. 2).

Реализация схемы применения концепции ПОУ представлена на рис. 3. Особенностью данного решения является отсутствие в Обществе единой полнофункциональной системы *PDM*. Определено, что базовая схема применения ПОУ подлежит доработке посредством создания ряда программно-информационных компонент: модуля ввода описания изделий, заменяющего отсутствие ряда функций *PDM* систем, базы конструкторско-технологических знаний (КТБЗ), автоматизирующей процесс подготовки проектно-производственных решений, и модуля подготовки описаний портфеля заказов – как основы программного обеспечения (ПО) для центра управления проектно-производственной деятельностью (ЦУППД).

Относительно новым решением в Комплексе является Центр управления проектами, функциями которого определены:

- контроль формирования объединённого потока работ;
- распределение исполнителей по изготовлению деталей сборочных единиц (ДСЕ) (внутренние мощности (опытное производство), внешняя кооперация);
- предварительное планирование и балансировка потока работ;
- формирование планов работы подразделений;
- мониторинг работы подразделений;
- мониторинг проектно-производственной деятельности Общества.

Анализ функционала набора базовых автоматизированных рабочих мест (АРМ) – администратора, руководителя, диспетчера, оператора (исполнителя) – показал целесообразность создания специализированных рабочих мест для конечных исполнителей: оператора ЧПУ, конструктора, технолога, рабочего (рис. 3).

Для отработки методики по сопровождению процессов проектно-производственной деятельности в Обществе определено изделие, спроектированное и изготавливаемое в период завершения проекта ПНИЭР в 2018–2019 годах – «Тележка-вращатель». От опытного производства получено порядка 200 документов, содержащих неструктурированную информацию с конструкторской документацией (рис. 4), и технология по изделию.

На основании этих данных построена КТБЗ и в систему введены:

- спецификации и рисунки с чертежами;
- с помощью КТБЗ сгенерированы проектно-производственные решения – маршруты создания ДСЕ и описания операционной технологии (рис. 5);
- определен Портфель заказов, содержащий проект создания изделия «Тележка-вращатель».

Комплекс автоматически (на основании данных КТБЗ и конструкторского состава изделия) формирует модель «Поток работ» (рис. 6), отражающую сопровождение процессов конструкторско-технологического проектирования (синий-желтый), изготовления (красный) и материально-технического снабжения (зеленый) для проекта создания изделия (цветом выделены виды работ по подразделениям).

Одной из основных функций Комплекса является мониторинг состояния проектно-производственного процесса. Суть мониторинга состоит в контроле

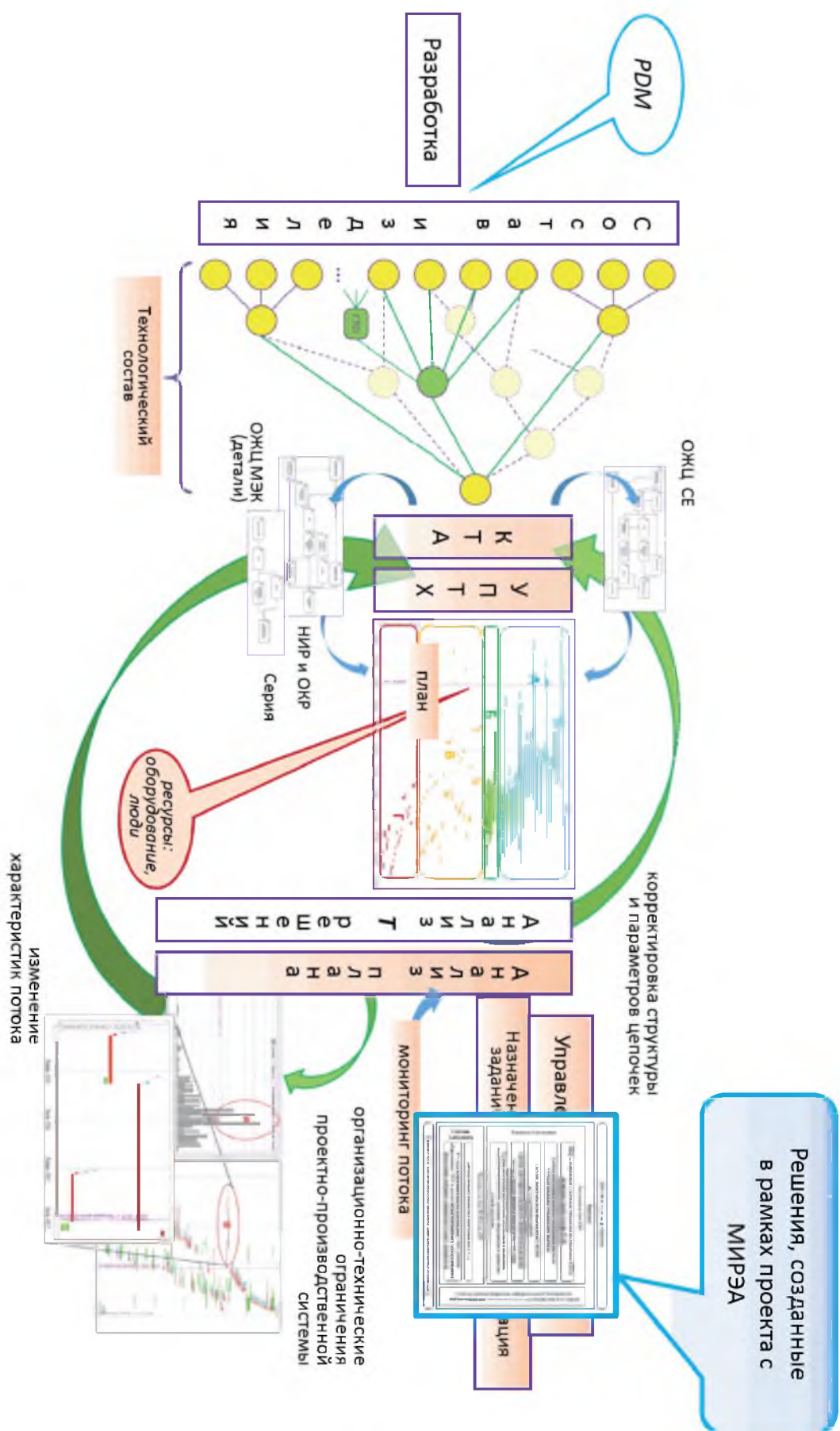


Рис. 2. Реализация концепции ПОУ

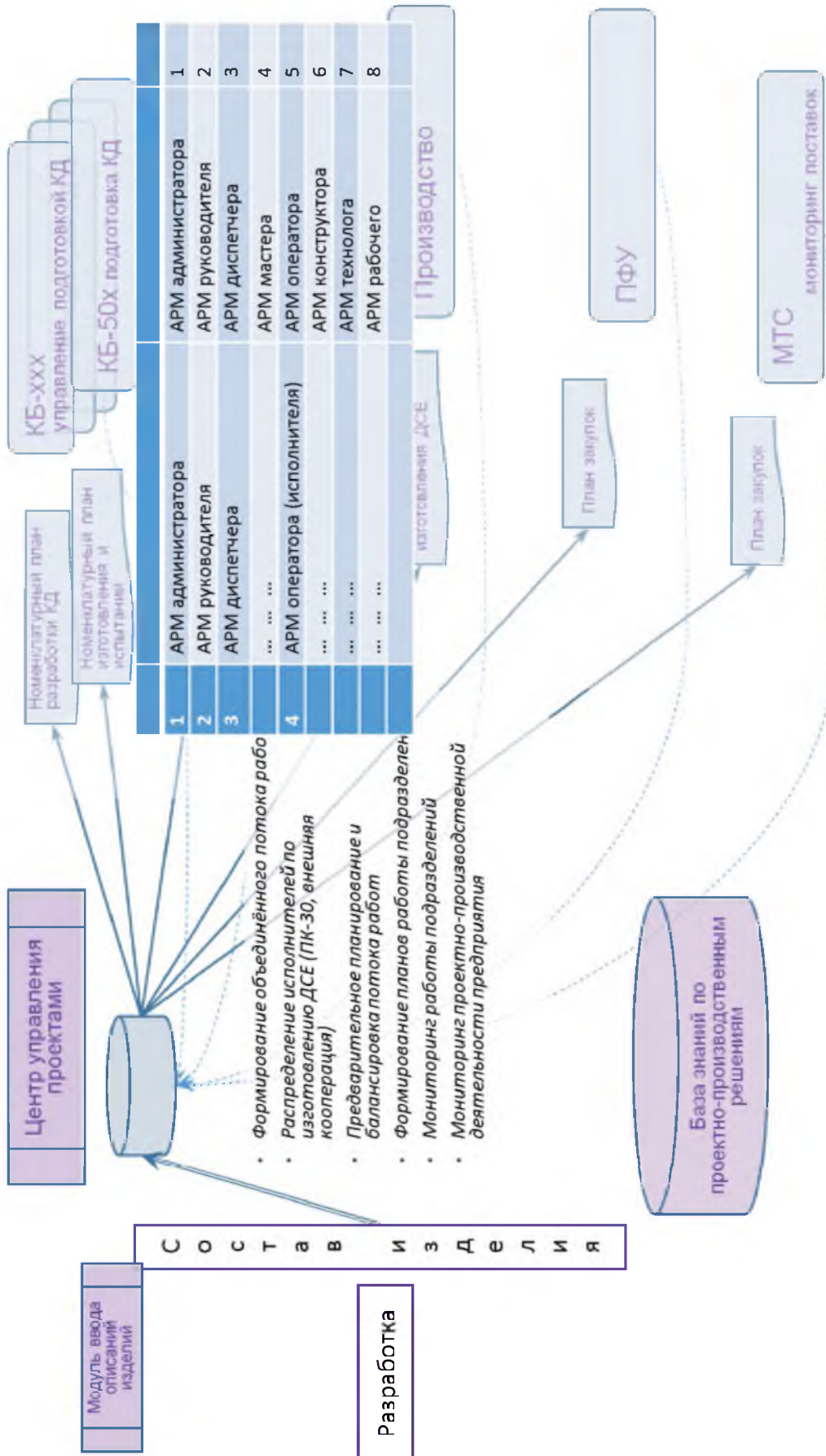


Рис. 3. Реализация решения в АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»

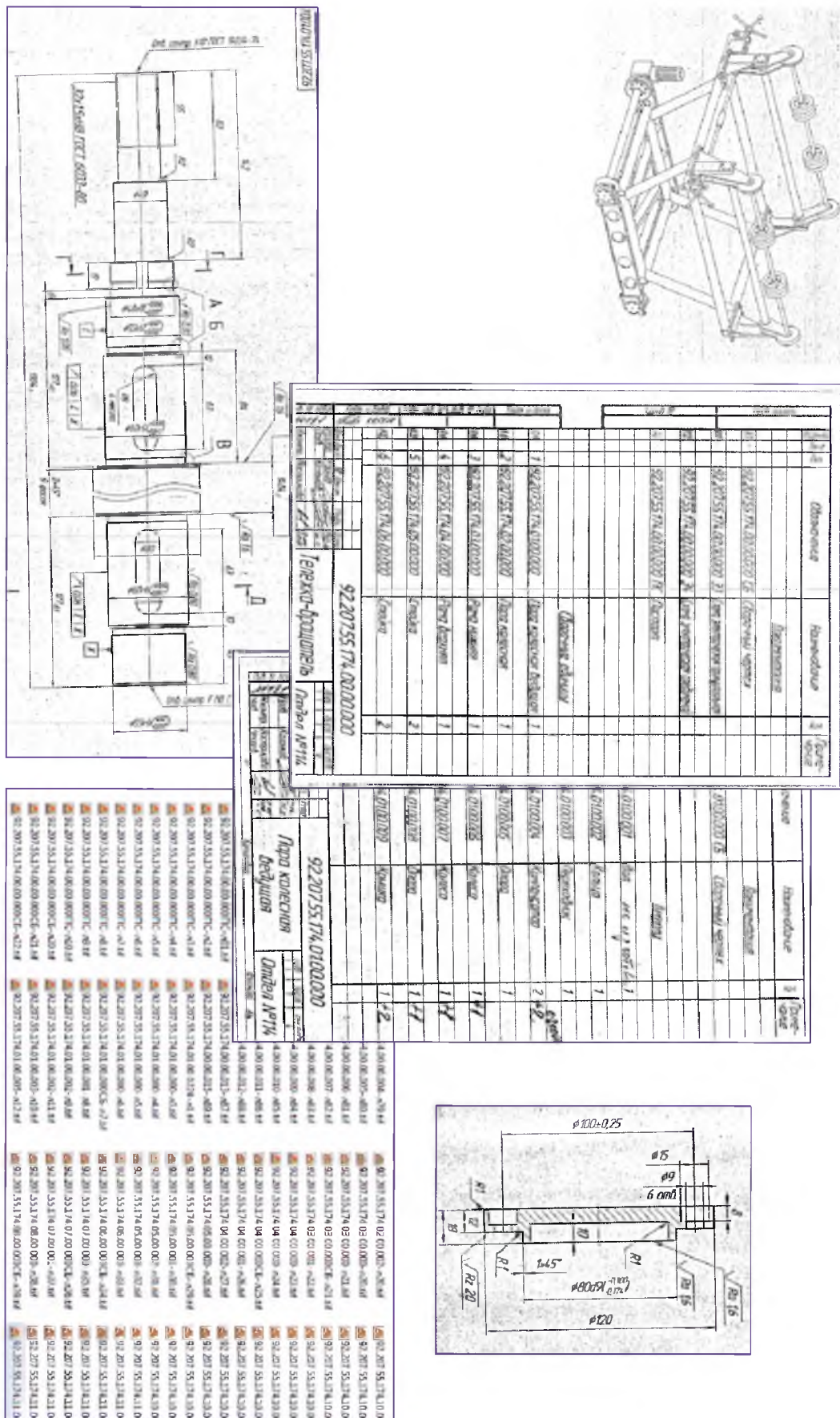


Рис. 4. Исходная информация для адаптации решения в АО «НПО «ТехноМаш» им. С.А. Арфанасьева»

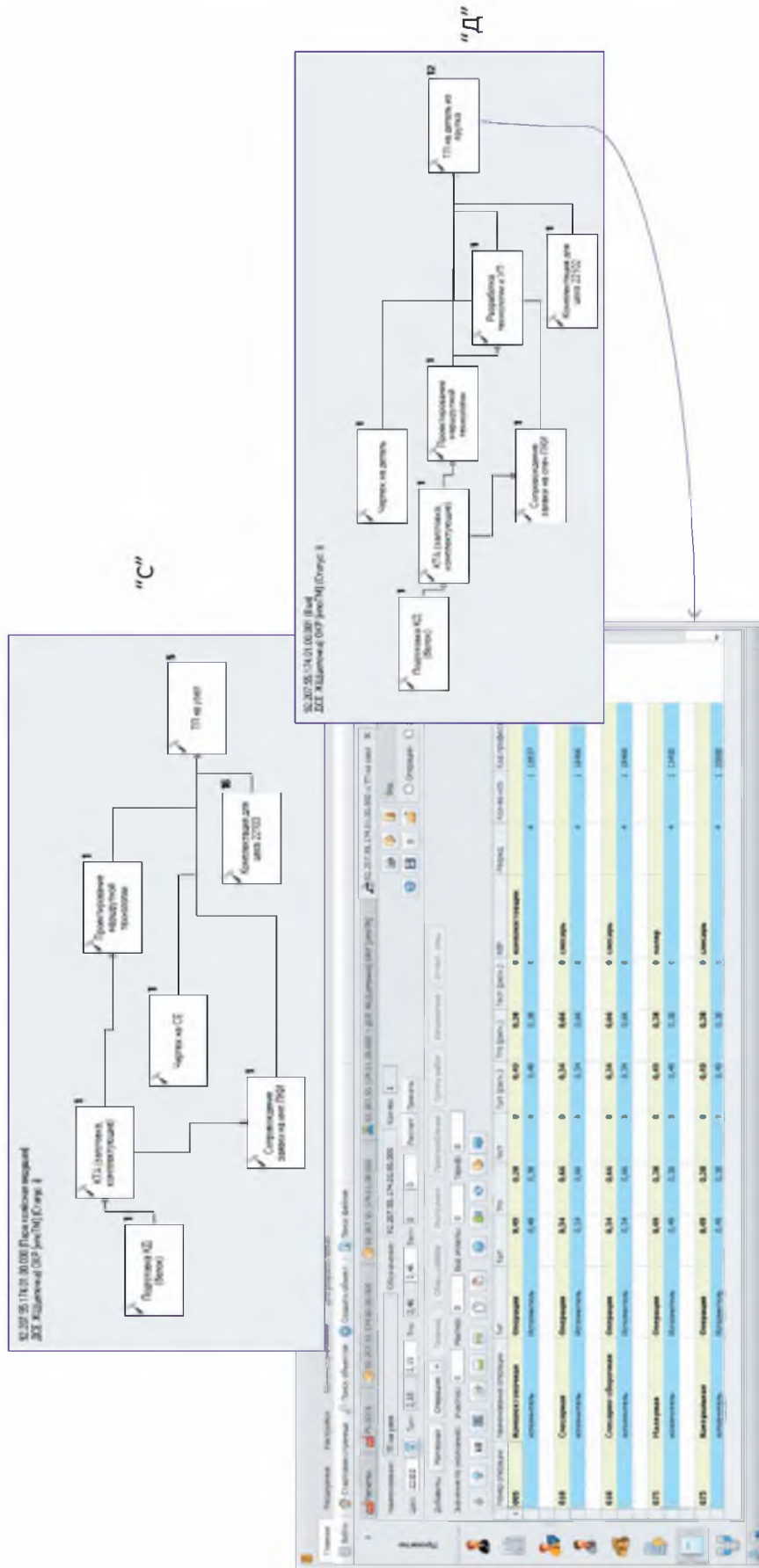


Рис. 5. Решения, полученные по КТБЗ

статусов работ по диаграммам Ганта и «Выполнение работ по подразделениям», «Загрузки подразделений». Статусы работ могут принимать значения: «Не назначена», «Назначена», «В работе», «Закрыта», «Частично закрыта», «Условно закрыта».

ПО Комплекса может функционировать в имитационном и основном режимах. Имитационный – используется в целях обучения. Основной – обеспечивает процесс управления организацией. В имитационном режиме действует параметр «Текущая дата проекта» (ТДП). Используя ТДП, можно повторять критические ситуации в процессах обучения либо посмотреть, например, состояние Потока работ на 45-й день проекта (рис. 7).

Подразделения могут соответствовать (подчиняться) правилам маршрутного либо операционного управления. При маршрутном управлении руководитель подразделения имеет возможность контролировать номенклатурный план подразделения на выбранный период посредством (рис. 8):

- списка работ (номенклатурного списка) с указанием плановых сроков их начала и завершения;
- диаграммы Ганта для подразделения;
- диаграммы уровня выполнения работ (по нарастанию либо по периодам) подразделения.

Обязанностью руководителя подразделения является регулярная отметка факта выполнения работ. Своевременное исполнение этих действий способствует повышению эффективности работы управляющего комплекса. Отметка о закрытии работ, отражающая факт получения производственной системой соответствующей информационной или материальной ценности, генерирует в системе условия для запуска на выполнение других логически связанных действий. Например, информация от руководителя конструкторского подразделения формирует в системе возможность продвижения в работах для технологических и логистических служб.

Операционное управление осуществляется в основном для подразделений производственного цикла (рис. 9). Для проекта этот период ближе к его завершению. С использованием прав либо руководителя подразделения, либо диспетчера, либо мастера можно выполнить назначение конечных исполнителей работ. Это производится в автоматическом или диалоговом режиме. Диалоговый режим используется для компенсации неадекватности представления в моделях производственных систем состояния ресурсного

обеспечения организации (квалификация, профессиональные навыки, структура бригад и т.д.), что возникает из-за опытного характера производства.

В процессах закрытия работ при изготовлении ракетно-космической техники (РКТ) можно выделить четыре группы действий:

1. Войдя в систему с правами конечного исполнителя, можно:

- в начале рабочего дня получить сменно-суточное задание (ССЗ) и распечатать при необходимости;
- в течение рабочего дня исполнитель может со своего рабочего места или цехового киоска сообщить о его выполнении или выполнении его части.

2. При производстве РКТ существенное внимание уделяется бригадной форме организации труда. Специфика бригадной формы управления определяется, прежде всего, высокой динамикой состава таких структур.

3. Войдя в систему с правами мастера можно:

- подтвердить факт выполнения работ;
- выполнить манипуляции по одновременному закрытию и подтверждению работ;
- осуществить контроль ограничений на объемы выполненных работ, которые усугубляются в условиях проведения опытных работ (рис. 10).

4. Ряд операций может обладать требованиями особого контроля, при этом для их подтверждения могут привлекаться представители отдела технического контроля (ОТК) и представители Заказчика.

АРМ оператора является базовым, системообразующим элементом Комплекса программно-информационных средств, унифицирующим обработку различных видов оборудования. Данный элемент решает задачу двухстороннего обмена данными:

- передача управляющей программы в исполнительную систему станка;
- сбор интерактивных и датчиковых данных для системы управления Комплексом и формирования протокола обработки.

Протокол обработки – это относительно новый объект, который будет использоваться для подтверждения качества процесса обработки.

На рис. 11 показан главный экран АРМ оператора Комплекса. Для начала работы оператору требуется зайти во вкладку «Мониторинг оборудования», где он выбирает оборудование, на котором будет работать, так как на одном АРМ может обслуживаться несколько станков (при мобильном исполнении



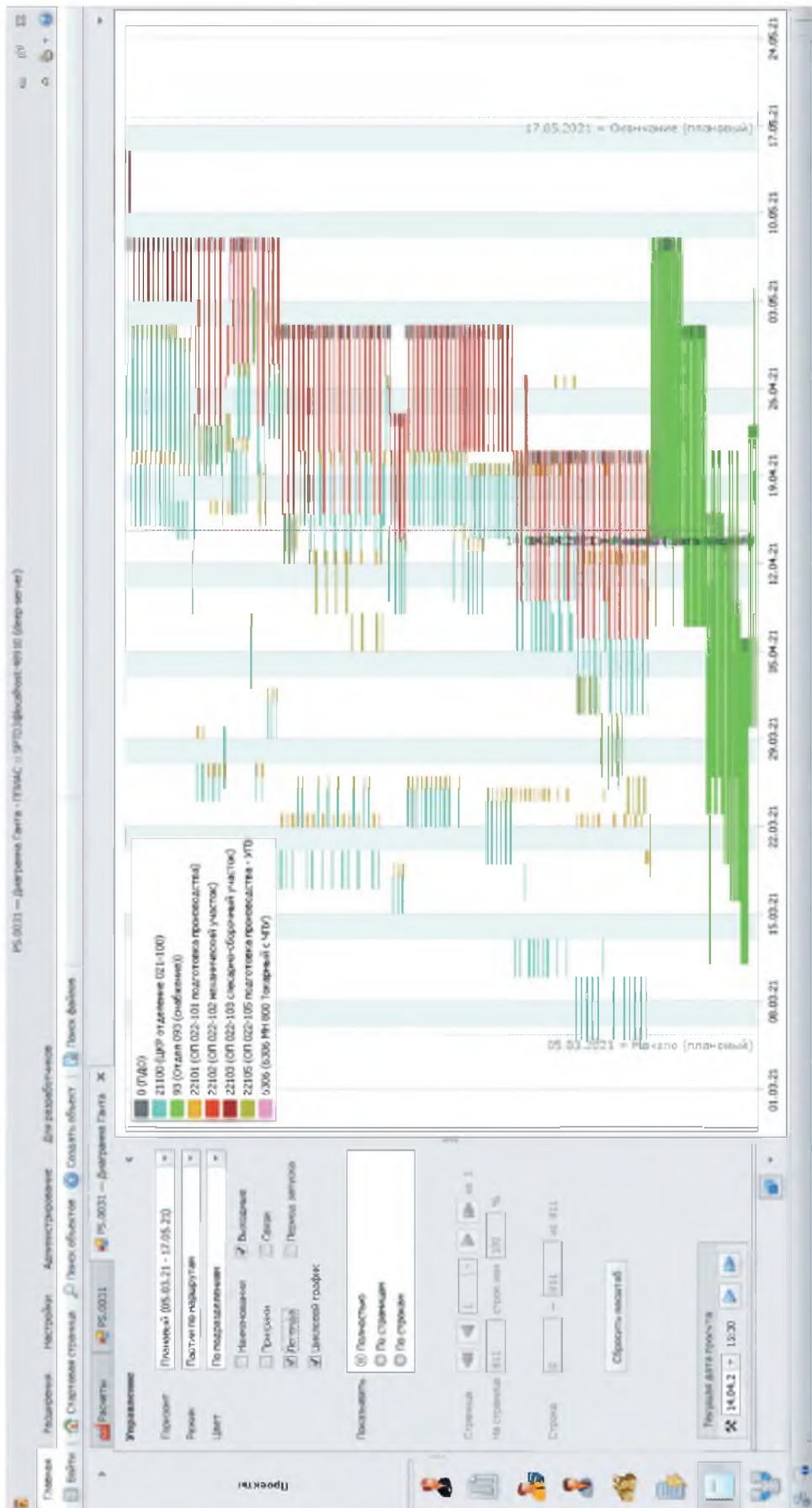
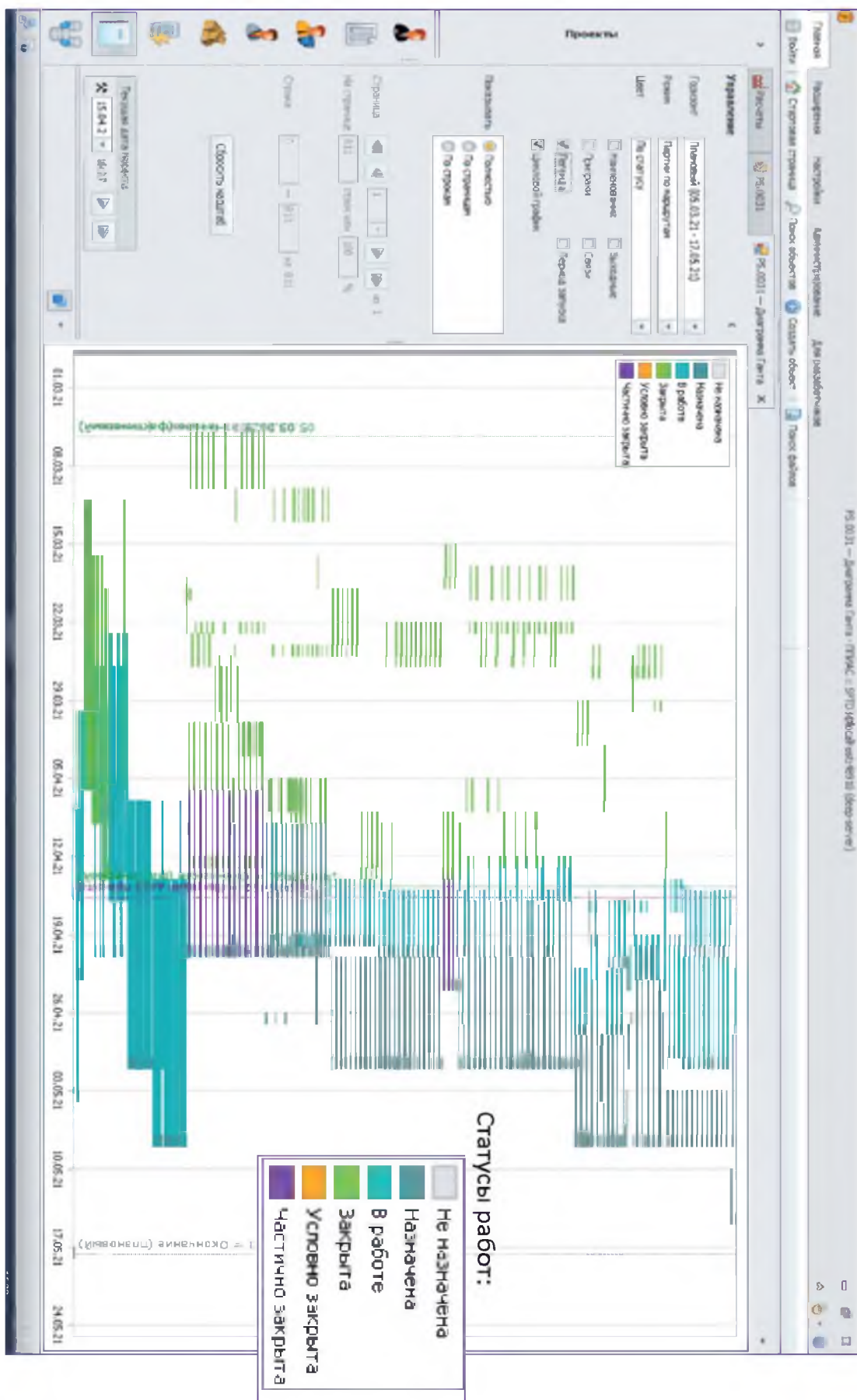
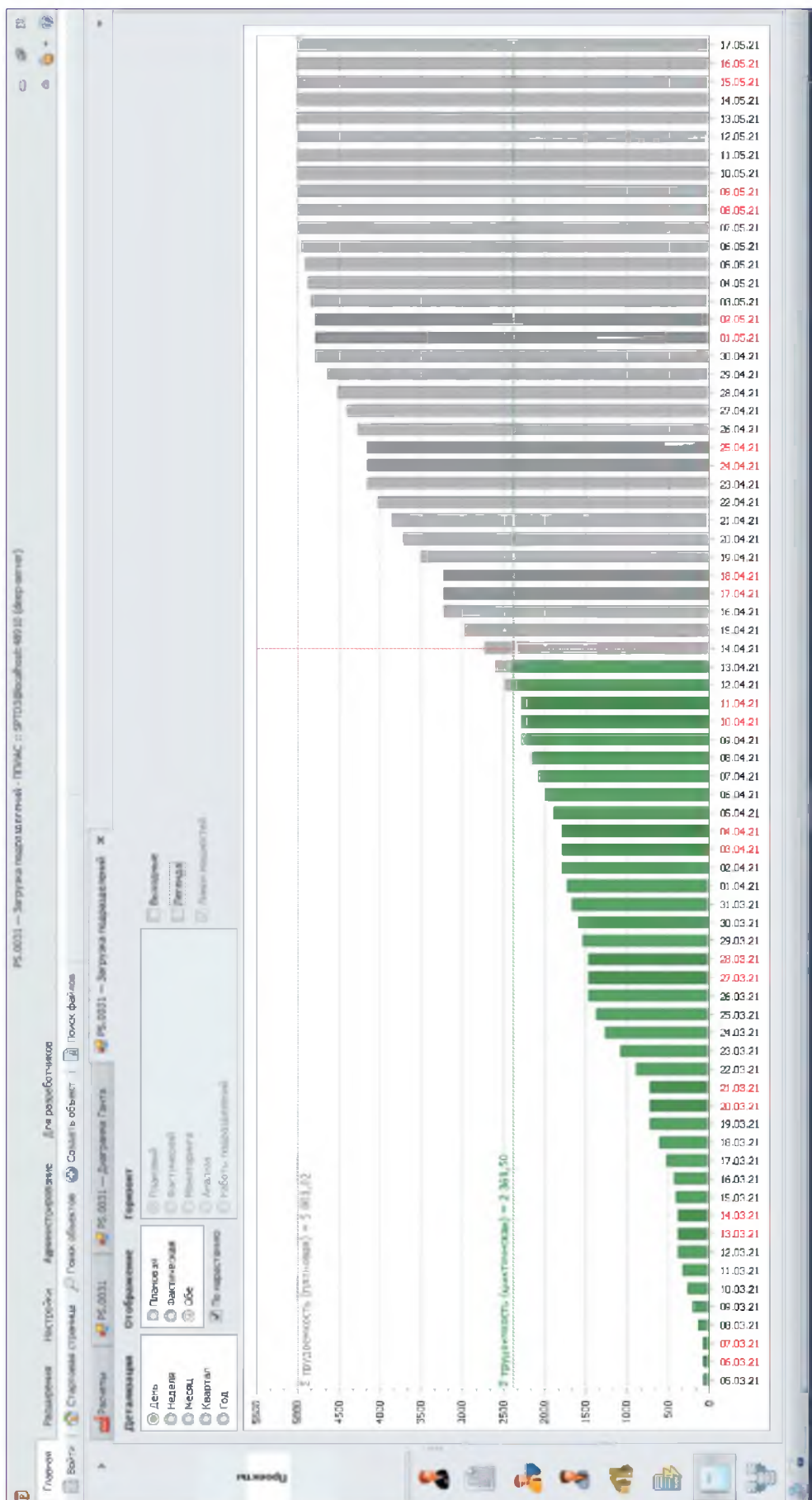


Рис. 6. Модель «Поток работ»



а) статусы работ



б) уровень выполнения по нарастающему



в) уровень выполнения по периодам

Рис. 7. Состояние Потока работ на 45-й день проекта



Рис. 8. Номенклатурный план закупок

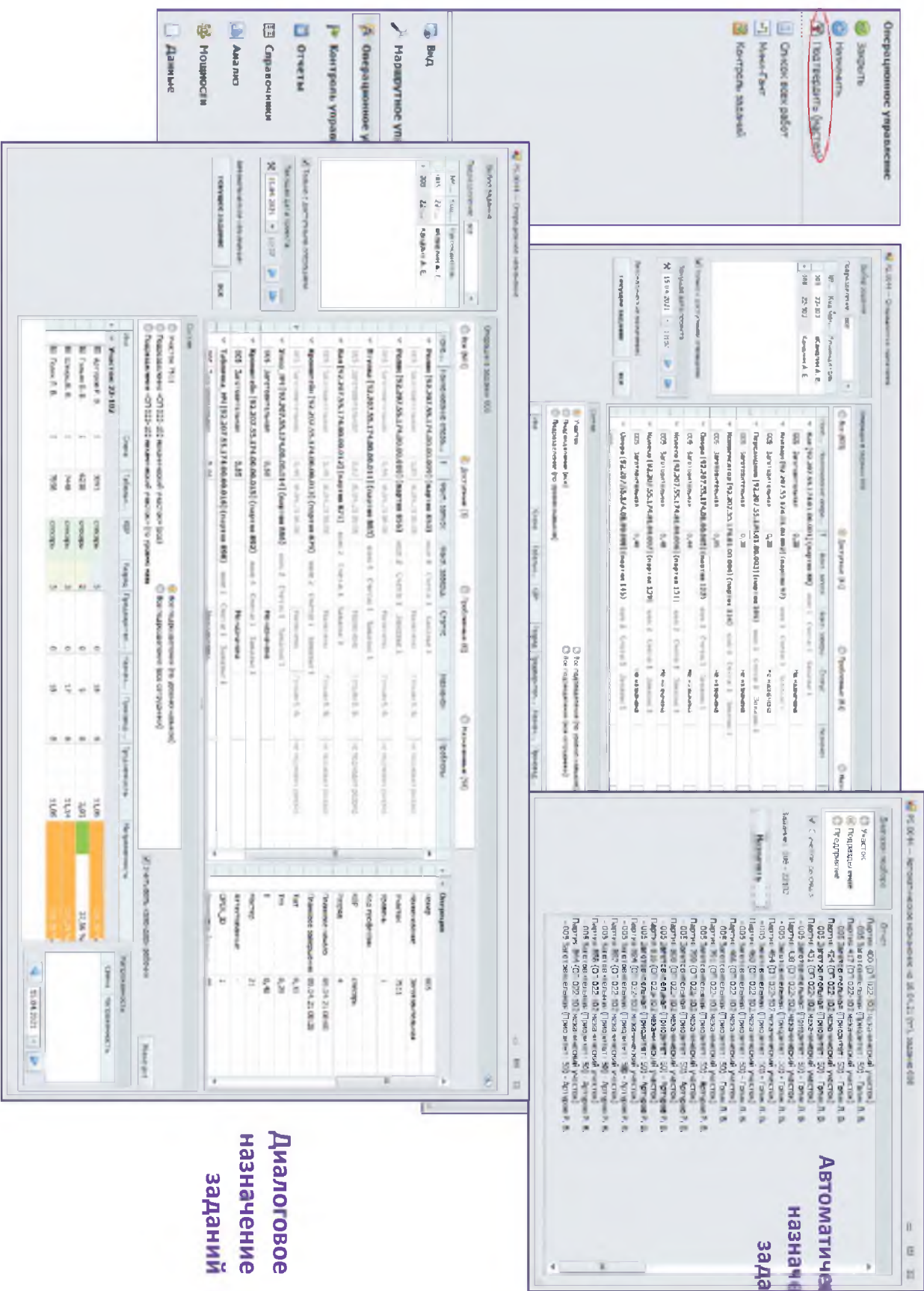


Рис. 9. Формирование сменно-суточного задания

Диалоговое
назначение
заданий

Автоматическое
назначение
заданий

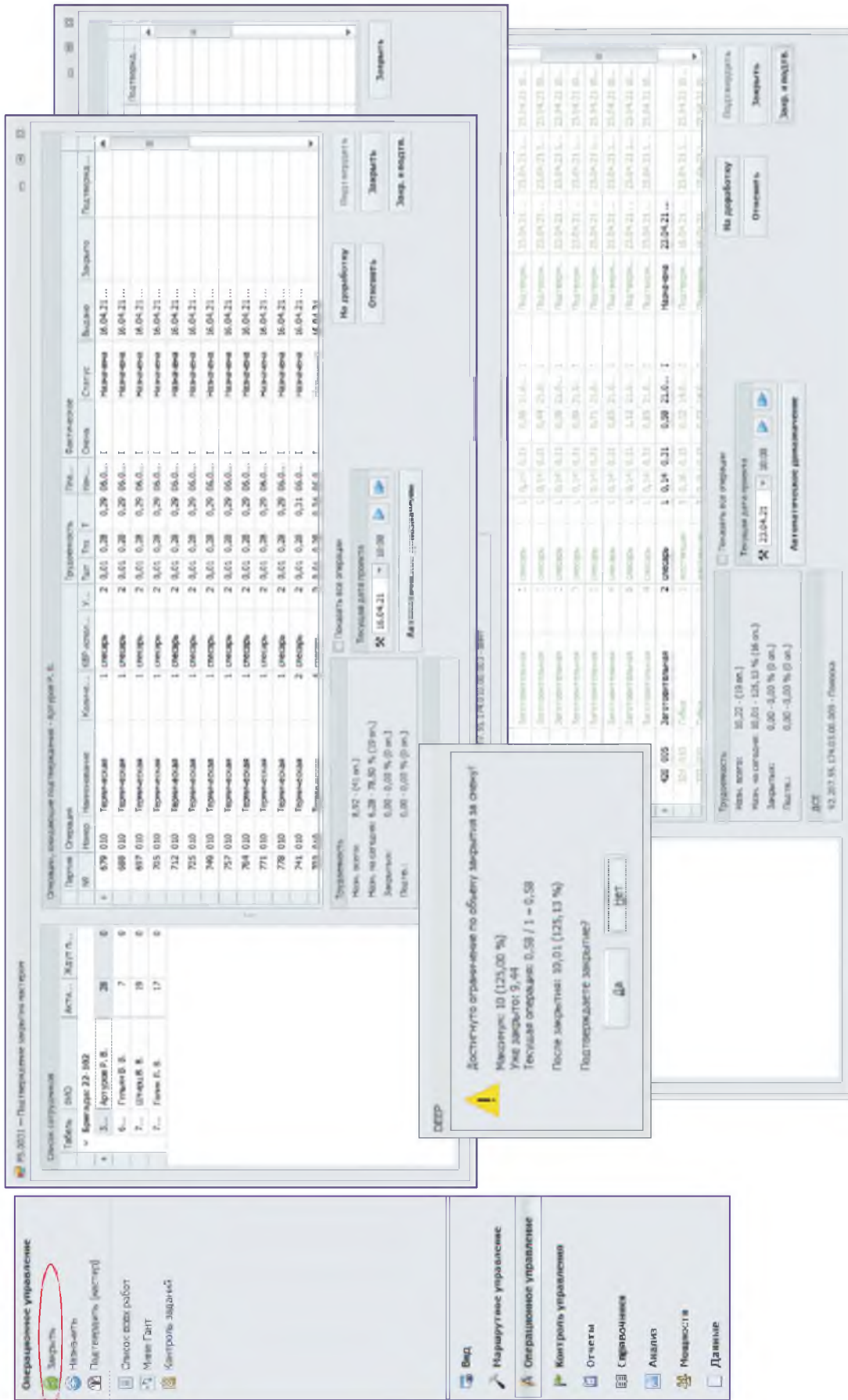


Рис. 10. Закрытие работ

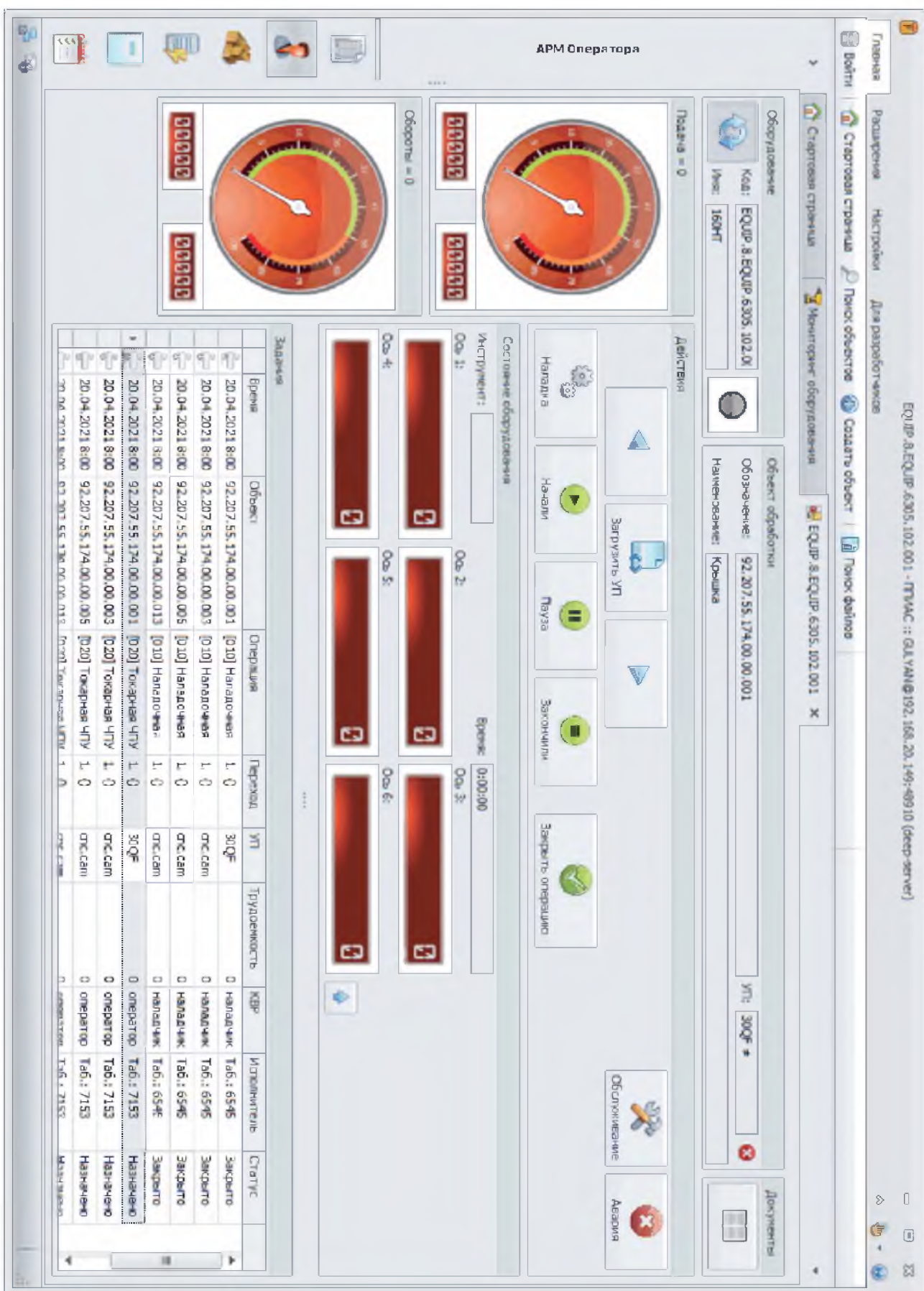


Рис. 11. Главный экран АРМ оператора Комплекса

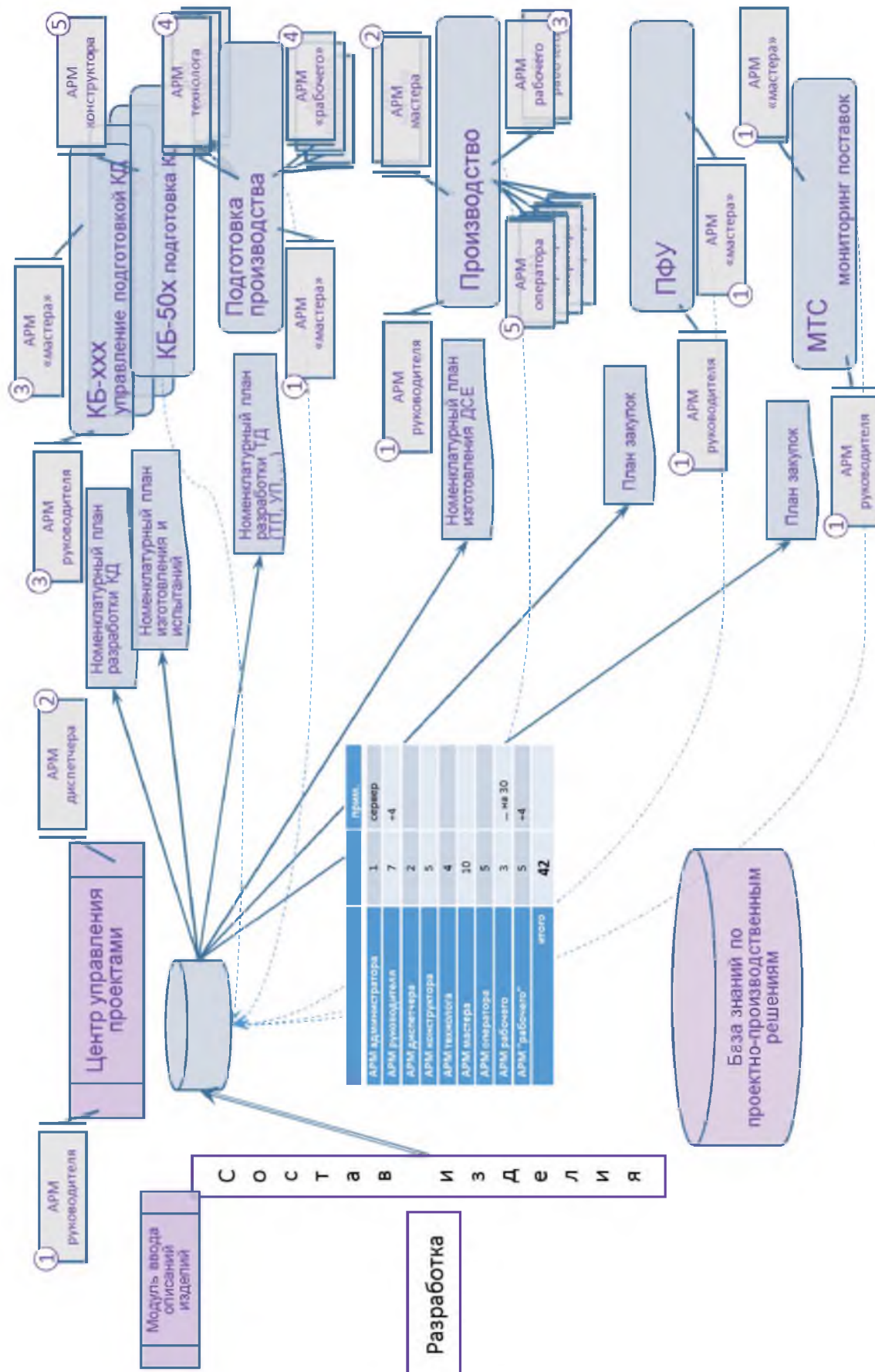


Рис. 12. Функциональная архитектура системы

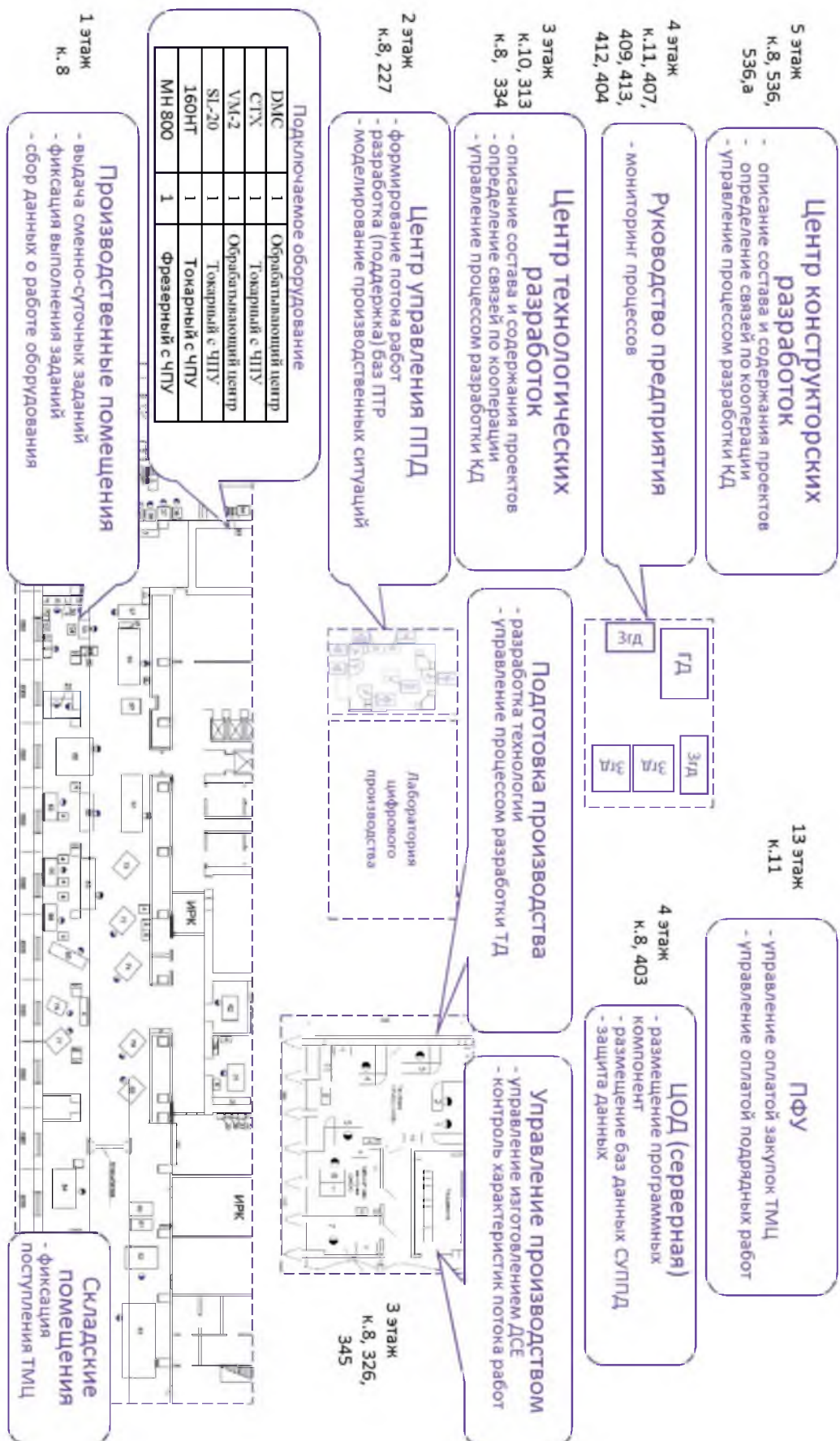


Рис. 13. Схема технической реализации

АРМ). В АРМ оператора предусмотрена возможность работы одного конечного исполнителя на нескольких станках. В данном случае оператор допущен к станку 160НТ. Он видит задания, которые необходимо выполнить, и контролирует основные показатели станка.

В нижней части экрана АРМ оператора отображается ССЗ, то есть задачи, которые требуется выполнить на данном станке. На рисунке видно, что наладочная операция выполнена. Следующая операция – токарная обработка. Для того, чтобы начать выполнение, требуется выбрать ее в списке задач и нажать на кнопку «передать управляющую программу» (УП). После этого в менеджере программ пульта станка появится требуемая УП, и с АРМ оператора можно начать выполнение программы.

Помимо выполнения функции загрузки УП с АРМ оператора можно просмотреть имитацию проведения токарной обработки детали «Крышка». Также можно выполнить просмотр и прочей конструкторско-технологической документации, относящейся к данной детали: чертеж для сравнения сделанной детали с требуемыми размерами (рис.4); технологический процесс и т.п.

Адаптация средств ПОУ [3, 4] к условиям проектно-производственной среды организации требует выполнения работ по организационно-техническим мероприятиям:

- определение количества АРМ (рис. 12) и их функциональности, применительно к структуре подразделений;
- определения мест территориального размещения АРМ с привязкой к коммуникационно-вычислительными сетям организации.

Анализ организационно-технических аспектов построения системы управления в Обществе позволил построить схему технической реализации решения (рис. 13).

Описанные в статье работы отражают типовую последовательность действий по адаптации программно-методического комплекса и проектно-операционного управления к условиям проектно-производственной среды машиностроительного предприятия. Решения по технической реализации и коррекции функциональной архитектуры системы ПОУ, связанные с особенностями ИТ-ландшафта АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева», показали высокую степень адаптивности базового ПО системы управления проектно-производственной деятельностью.

Библиографический список

1. Лопота А.В., Цырков А.В. Построение системы проектно-операционного управления научно-производственным машиностроительным комплексом // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России: науч.-техн. журн. – 2016. – № 2. – С. 52–60.
2. Семенов В.В., Цырков А.В., Юрцев Е.С. Индустрия 4.0. Новое в управлении жизненным циклом продукции // Вестник «НПО «Техномаш». – 2018. – №6. – С. 73–76.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618895 Российская Федерация. Мониторинг процессов проведения опытно-конструкторских работ (МП ОКР) / Ермохин Е.А., Кубышев С.В., Лопота А.В., Цырков А.В., Цырков Г.А. Заявка № 2018660480; опубл. 20.09.2016.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613736 Российская Федерация. Система ресурсного управления бизнес-процессами машиностроительного предприятия (Resourced Business Process Management System, R BPM) / Цырков Г.А., Цырков А.В. Заявка № 2021611652; опубл. 12.03.2021.



Цырков Александр Владимирович – д-р техн. наук, главный научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-74-34, доб. 24-31.
E-mail: A.Tsyrcov@tmnpo.ru
Tsyrcov Aleksandr Vladimirovich – Ph.D. in Engineering, Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».
Tel.: 8(495)689-74-34, ext. 24-31.
E-mail: A.Tsyrcov@tmnpo.ru

Рахмилевич Евгений Георгиевич – заместитель директора Департамента промышленной политики и технологического развития Госкорпорации «Роскосмос».
Тел.: +7(495) 631-90-00, доб. 23-61
Rakhmilevich Evgenii Georgievich – Deputy Director of the Department of Industrial Policy and Technology Development of State Space Corporation Roscosmos.
Tel.: +7(495) 631-90-00, ext. 23-61

Юрцев Евгений Сергеевич – канд. техн. наук, заместитель директора центра АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-95-26, доб. 95-26.
E-mail: E.Yurcev@tmnpo.ru
Iurtsev Evgenii Sergeevich – Ph.D. in Engineering Sciences, Deputy Center Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».
Tel.: 8(495)689-95-26, ext. 95-26.
E-mail: E.Yurcev@tmnpo.ru

Цырков Георгий Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры №316 ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).
Тел.: 8(495)915-52-91. E-mail: g@tias.pro
Tsyrcov Georgy Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor at the Department №316 of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Moscow Aviation Institute (National Research University)» (MAI).
Tel.: 8(495)915-52-91. E-mail: g@tias.pro

Ермохин Егор Алексеевич – заведующий лабораторией, кафедра №316 ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).
Yermokhin Yegor Alekseyevich – Head of Laboratory, Department №316 of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Moscow Aviation Institute (National Research University)» (MAI).

Буйлов Дмитрий Сергеевич – инженер-технолог АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел.: 8(495)689-31-73, доб. 24-93.
E-mail: D.Bujlov@tmnpo.ru
Builov Dmitrii Sergeevich – Process Engineer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».
Tel.: 8(495)689-31-73, ext. 24-93.
E-mail: D.Bujlov@tmnpo.ru



УДК 629.7:658.51

Кондратенко А.Н.
Kondratenko A.N.

Концептуальные вопросы развития производственно-испытательной базы ракетно-космической промышленности

Conceptual issues of production and test base development in the aerospace industry

Для производственно-испытательной базы ракетно-космической промышленности рассмотрены состояние, проблемные вопросы и современные тенденции развития. Сформулированы замысел, цели, задачи, в том числе первоочередные, и принципы инновационного развития. Изложены особенности организации технологического аудита, развития кадрового потенциала, материально-технической и нормативно-правовой базы. Сформулированы предпосылки роботизации процессов испытаний, а также последствия создания и внедрения робототехнических систем испытаний.

The state, problematic issues and current development trends are considered for the production and test base of the aerospace industry. The concept, goals, objectives, tasks, including priority ones, and principles of innovative development are formulated. The features on the organization of process audit, human resource development, logistical and regulatory framework are outlined. The prerequisites for the robotization of testing processes are formulated, as well as the consequences of the creation and implementation of robotic testing systems.

Ключевые слова: испытания, качество, метрологическое обеспечение, производственно-испытательная база, производственно-технологическая модернизация, ракетно-космическая промышленность, ракетно-космическая техника, технологический аудит.

Keywords: tests, quality, metrological support, production and test base, production and technological modernization, aerospace industry, aerospace equipment, process support.

Производственно-испытательная база (ПИБ) ракетно-космической промышленности (РКП) обеспечивает проведение заводских испытаний элементов, агрегатов и сборочных единиц изделий ракетно-космической техники (РКТ) на этапах изготовления опытных образцов и серийных изделий, а также их составных частей [1], является неотъемлемой частью технологических процессов опытного и серийного изготовления (производства) изделий и их макетов для проведения заводских испытаний. Научно-технический потенциал ПИБ – это организационная совокупность научно-технических знаний, решений, процессов, управленческой структуры развития системы испытаний, нормативно-методического обеспечения испытаний, испытательных стендов и установок с обеспечивающей их функционирование инженерной инфраструктурой, метрологического обеспечения испытаний и интеллектуального потенциала производственно-испытательного персонала.

ПИБ РКП, экспериментально-испытательная база (ЭИБ) для наземной экспериментальной отработки (НЭО) РКТ, полигонно-испытательный комплекс (ПИК) РКП являются материально-технической основой обеспечения качества, надежности и безопасности производства и эксплуатации РКТ [1, 2]. При создании РКТ суммарная стоимость НЭО РКТ, в которую входят производственные испытания, составляет около 30÷40% от общего числа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [1]. Стоимость производственных испытаний может составлять до 15–25% в общей стоимости производства изделий, поэтому эффективность функционирования ПИБ РКП является одним из определяющих факторов повышения производительности труда при создании и производстве РКТ.

Изложенные обстоятельства определяют актуальность вопросов определения перспективных направлений развития ПИБ РКП (особенно на эта-

пах формирования и принятия государственной программы «Космическая деятельность России» и государственной программы «Развитие оборонно-промышленного комплекса» на новый программный период), а также базовые направления мероприятий, направленных на решение проблемных вопросов развития ПИБ РКП:

- производственно-технологическая модернизация ПИБ на основе реконструкции, технического перевооружения и нового строительства (РиТП), инновационной реализации технологической научно-исследовательской опытно-конструкторской работы (НИОКР) [3];
- осуществление сбалансированной кадровой политики, направленной на обеспечение ПИБ РКП квалифицированными кадрами [3];
- развитие нормативной и методической базы ПИБ [4];

1. Современное состояние и основные проблемные вопросы ПИБ РКП

ПИБ РКП сосредоточена на 20 промышленных предприятиях-заводах, серийно выпускающих изделия РКТ различного назначения или их элементы и системы, а также на 15 предприятиях-разработчиках (одновременно изготовителях) узлов и агрегатов (гироскопических стабилизаторов, блоков датчиков, автономных источников электропитания, приборов для ориентации космических аппаратов, аппаратуры систем управления наземным технологическим оборудованием и др.), основных систем изделий РКТ различного назначения [1, 2]. Испытательное оборудование таких предприятий – это стенды (в основном, установки для проведения прочностных испытаний, климатические камеры, ударные и вибрационные стенды, газо- и гидродинамические стенды, стенды для испытаний жидкостных ракетных двигателей, жидкостных ракетных двигателейных установок разгонного блока, космических аппаратов и разгонных блоков) для испытаний узлов и агрегатов РКТ на воздействие внешних и внутренних воздействующих факторов (температурных и механических воздействий), которые используются для подтверждения требований конструкторской и технологической документации.

ПИБ РКП содержит более 2,2 тыс. единиц испытательных стендов и установок, в том числе 630 единиц испытательных стендов и установок, которые относятся как к ЭИБ НЭО РКТ, так и к ПИБ РКП. В настоящее

– системное планирование и научно-техническое сопровождение инновационного развития ПИБ [5].

Прогнозируемая динамика международно-политических и экономических внешних условий обуславливает усиление роли фактора обеспечения независимости в осуществлении Россией своей космической деятельности без критической зависимости от иностранных государств по научно-техническим, производственно-технологическим, технико-экономическим, нормативно-правовым и политическим условиям. В дополнение к вышеперечисленным, как отдельное базовое направление мероприятий, направленных на решение проблемных вопросов развития ПИБ РКП, особую актуальность имеет направление обеспечения импортонезависимости ПИБ РКП [3].

время существует распределение количества испытательных установок и стендов по видам испытаний [2]:

- отработка тепловых режимов изделий – 3%;
- отработка прочности и динамических характеристик – 39%;
- отработка ракетных двигателей и двигательных установок – 7%;
- отработка бортовых систем и аппаратуры – 7%;
- автономные и комплексные испытания на воздействие тепла, холода, давления, влаги, пыли, агрессивных сред, различных излучений – 34%.

Соответствующее распределение учетной балансовой стоимости испытательных установок и стендов по видам испытаний [2]:

- отработка тепловых режимов изделий – 6%;
- отработка прочности и динамических характеристик – 27%;
- отработка ракетных двигателей и двигательных установок – 26%;
- отработка бортовых систем и аппаратуры – 26%;
- автономные и комплексные испытания на воздействие тепла, холода, давления, влаги, пыли, агрессивных сред, различных излучений – 15%.

Основные функции ПИБ организаций и предприятий РКП – проведение всех видов испытаний продукции для оценки соответствия характеристик заданным тактико-техническим требованиям и техническим условиям в соответствии с требованиями



системы разработки и постановки на производство продукции. ПИБ организаций и предприятий РКП, изготавливающих изделия РКТ и их составные части, должна обеспечивать основные контрольные испытания: установочные, периодические, предъявительские, приемо-сдаточные, входной контроль, а в ряде случаев и контрольно-выборочные испытания. Основные классы испытаний, проводимые на ПИБ организаций и предприятий РКП, изготавливающих изделия РКТ и их составные части – внешний осмотр, контроль целостности и неразрушающие методы контроля, определение размеров, взвешивание, контроль чистоты, контроль защиты изделия от воздействия статического электричества, пневмо- и гидроиспытания, электроиспытания.

Ключевые компетенции организаций и предприятий РКП, необходимые для проведения испытаний:

- разработка методов и технологий стендовых испытаний опытных и серийных образцов продукции, их составных частей, элементов и специальных материалов;

- разработка нормативно-технических документов системы испытаний продукции, организация и проведение стендовых испытаний опытных и серийных образцов продукции, их составных частей, элементов и специальных материалов;

- разработка технологии создания, эксплуатации и применения стендовых испытаний;

- разработка, производство, эксплуатация и метрологическое обеспечение средств испытаний;

- эксплуатация инфраструктуры объектов ПИБ организаций и предприятий РКП, обеспечение транспортирования, хранения, снаряжения, сборки, ремонта, эксплуатации, утилизации испытуемой продукции;

- планирование и реализация мероприятий по РИТП объектов ПИБ организаций и предприятий РКП;

- организация подготовки и аттестации испытателей, обеспечение социально-бытовых условий работы персонала организаций и предприятий РКП;

- обеспечение промышленной и экологической безопасности.

1.1. Проблемные вопросы ПИБ РКП в части обеспечения качества и надежности

За период 2009–2020 годов наибольшее количество исследованных отказов и неисправностей изделий РКТ носит производственный характер – $\approx 36 \div 40\%$, и признак «не установлен» – $\approx 23,5\%$ [5]. Доля производственно-технологических отказов (неисправностей) является стабильной, устойчивой на протяжении длительного периода времени и составляет самую значимую часть отказов (неисправностей).

Основные системные причины производственных отказов средств выведения – несоблюдение технологической дисциплины в процессе производства, а также несовершенство технологических процессов изготовления и поставка предприятиями кооперации некачественных комплектующих и материалов, включая недостаточную эффективность (достоверность результатов) всех видов производственного контроля, допускающих пропуск дефектов.

Основные системные причины производственных отказов космических аппаратов – несовершенство

технологических процессов изготовления и поставка предприятиями кооперации некачественных комплектующих и материалов, включая недостаточную эффективность (достоверность результатов) всех видов производственного контроля, допускающих пропуск дефектов.

Основные системные причины наличия отказов РКТ с признаком «не установлен» – недостаточная контролепригодность, отсутствие необходимых испытательных стендов, непроведение исследований в случаях сбоев, самоустраняющихся и не подтвердившихся неисправностей, отказах электрорадиоизделий.

Во всех случаях одной из основных причин отказов (неисправностей) является недостаточная эффективность производственных испытаний (производственного контроля) на ПИБ, допускающих пропуск дефектов или поставку некачественных комплектующих, полуфабрикатов и материалов, поставляемых организациями и предприятиями кооперации [5].

1.2. Проблемные вопросы ПИБ РКП в части материально-технического и кадрового обеспечения

В целом по номенклатуре испытательного оборудования ПИБ РКП соответствует уровню производственного испытательного оборудования ведущих

космических держав. В части измерительного, регистрирующего, обрабатывающего и управляющего оборудования наметилась тенденция отставания

от современного мирового уровня. В частности, для метрологического обеспечения испытаний РКТ и их составных частей на ПИБ РКП необходима модернизация существующих и создание новых эталонов для обеспечения прослеживаемости единиц измерения к Государственным эталонам.

На начало 2022 года состояние испытательного оборудования ПИБ РКП характеризуется следующими показателями и критериями (см. [3]):

- доля испытательного оборудования с возрастом до 10 лет – $\approx 34,8\%$;
- доля испытательного оборудования с возрастом до 11–20 лет – $\approx 12,8\%$;
- доля испытательного оборудования старше 20 лет – $\approx 52,4\%$;
- загрузка Z производственных мощностей ПИБ РКП в период 2010–2021 годов – $31\% \leq Z \leq 47,0\%$, в период 2018–2021 годов – $31\% \leq Z \leq 34,0\%$;
- невозможность ремонта значительного количества средств испытаний, обусловленная «режимом санкций» западных государств, а также снятием с производства потребной элементной базы и комплектующих;
- сложности закупок высокотехнологичных испытательных стендов в условиях санкций, проводимых зарубежными странами, и ограничений на импорт высоких технологий;
- наметилось отставание от мирового уровня испытательных средств по направлениям: разрушающий контроль структуры изделий из композитных материалов, контроль механических свойств материалов, акустические испытания, расходные испытания жидкости и газа, испытания аддитивного производства металлических и пластиковых изделий;
- в РКП отсутствует испытательная база для проведения комплексных испытаний воздействия факторов космического пространства на материалы и покрытия космического назначения, без которых невозможна разработка и изготовление крупногабаритных трансформируемых рефлекторов, параболических и контурных антенн, сверхточных антенн, силовых углепластиковых и сотовых конструкций, двухконтурных радиаторов систем терморегулирования, силовых углепластиковых конструкций солнечных батарей, гибких трансформируемых элементов конструкций из композиционных материалов;

- на некоторых промышленных предприятиях РКП отсутствует аналитическое оборудование для экспресс-анализа химического состава металлических материалов, также наблюдается критический износ испытательного оборудования для проведения контроля жаропрочных сплавов;

- отсутствует полная номенклатура стендов по проверке полетных заданий;

- практически отсутствует современное оборудование и технологии оперативной диагностики объектов и оборудования ПИБ, использующие унифицированные мобильные комплексы контроля параметров, регламентируемых требованиями промышленной безопасности к функционированию ПИБ;

- на большинстве организаций и предприятий оборудование общетехнических и технологических систем, обеспечивающих функционирование ПИБ, в том числе промышленную безопасность, морально и физически устарело и требует РИТП для расширения технических возможностей и поддержания технических характеристик на требуемом уровне.

Такое состояние испытательного оборудования (испытательных стендов и установок) обуславливает повышенные затраты на ремонт, потери рабочего времени в связи с простоями на ремонт и не позволяет внедрять в технологические процессы организаций и предприятий большинство инноваций, используемых на мировом уровне. В итоге проявляется тенденция увеличения производственного цикла изготовления РКТ и низкой производительности труда.

На начало 2022 года состояние материально-технической базы метрологического обеспечения испытаний на ПИБ РКП характеризуется следующими показателями и критериями:

- из более миллиона применяемых средств измерений [3, 4] более 83% выпущено промышленностью более 20 лет назад, $\approx 14\%$ имеют возраст от 10 до 20 лет, $\approx 3\%$ имеют возраст до 10 лет;

- порядка 50% эталонов имеют возраст более 20 лет [4] – значительная часть эталонной базы Федеральной системы измерений морально и физически устарела, требуется проведение первоочередных мероприятий по ее техническому перевооружению.

Уровень морального и физического износа средств метрологического обеспечения проведения испытаний (включая контрольно-измерительное оборудование, современные средства контроля пара-



метров изделий и др.) достиг критического значения и негативно влияет на качество (в первую очередь достоверность и информативность) результатов проведения испытаний продукции. Другим следствием критического состояния метрологического обеспечения ПИБ РКП является фактическая доля аттестованных методик измерений – $\geq 46\%$ от применяемых $\approx 8,4$ тыс. методик измерений.

Для оценки допустимых сроков эксплуатации испытательного оборудования ПИБ рассмотрим совокупное состояние и загрузку оборудования и установок ПИБ РКП и ЭИБ НЭО РКТ по состоянию на начало 1992 года:

- доля испытательного оборудования с возрастом до 10 лет – $\approx 30,4\%$;
- доля испытательного оборудования с возрастом до 11–20 лет – $\approx 39,0\%$;
- доля испытательного оборудования старше 20 лет – $\approx 30,6\%$;
- загрузка Z производственных мощностей ПИБ РКП в 1990–1991 годы – $\approx 70\%$.

Анализ номенклатурного состава и сроков эксплуатации оборудования и установок ПИБ РКП [1–4] показывает, что в настоящее время $\approx 48\%$ оборудования и установок эксплуатируется с возрастом до 20 лет и около $\approx 52\%$ оборудования и установок эксплуатируется более 20 лет. При этом загрузка оборудования и установок ПИБ РКП в настоящее время составляет $< 35\%$.

Согласно предложенной в [6, 7] классификации распределения сроков службы машин и оборудования по трем категориям оборудование и установки ПИБ РКП относятся в основном:

- к первой категории – оборудование и установки конструктивно сложные с установленными сроками службы или производимые малыми сериями или в единичных экземплярах, ремонт которых является высокзатратным [6–8], средний срок службы такого оборудования и установок превышает установленный производителем срок более чем в 1,8 раз;
- ко второй категории – оборудование и установки, к которым предъявляются повышенные требования по надежности, но сроки службы не регламентируются и могут неоднократно продлеваться. Средний срок службы такого оборудования и установок превышает установленный производителем срок более чем в 2 раза [6].

Как правило, устанавливаемый срок службы испытательного оборудования и установок составляет 10 лет.

С учетом изложенных обстоятельств, в том числе низкой загрузки ПИБ РКП, можно принять подтвержденную на практике целесообразность эксплуатации испытательного оборудования и установок ПИБ РКП с возрастом до 20 лет, а предельно допустимой долей испытательного оборудования ПИБ РКП старше 20 лет – $\leq 30\%$.

На начало 1992 года совокупное состояние материально-технической базы метрологического обеспечения испытаний на ПИБ РКП и ЭИБ НЭО РКТ характеризовалось следующими показателями:

- доля средств измерений с возрастом до 10 лет – $\approx 59,9\%$;
- доля средств измерений с возрастом до 11–20 лет – $\approx 9,6\%$;
- доля средств измерений старше 20 лет – $\approx 30,5\%$;
- доля эталонов с возрастом до 10 лет – $\approx 75,3\%$.

Данные показатели материально-технической базы метрологического обеспечения испытаний целесообразно принять целевыми для ПИБ РКП на современном этапе развития.

Требуется проведение целевых программно-плановых мероприятий по РИТП и технологической модернизации ПИБ РКП и ее метрологического обеспечения. При технологической модернизации ПИБ РКП должна быть обеспечена необходимая степень внедрения автоматизированных информационно-аналитических технологий, развиты цифровые технологии создания и использования в испытательной деятельности цифровых двойников составных частей РКТ, измерительных систем и процессов испытаний [9].

Суть проблемных вопросов состояния и развития кадрового потенциала ПИБ РКП:

- неудовлетворительная возрастная структура кадров – средний возраст специалистов-испытателей на начало 2022 года составляет 52 года, а по состоянию на начало 1992 года – 40,5 лет;
- результаты экспертного опроса 20 промышленных организаций РКП, проведенного в 2021 году при технологическом аудите предприятий, выполняющих инвестиционные проекты, показали, что испытательные подразделения в целом по отрасли на $20\div 30\%$ не доукомплектованы квалифи-

цированным инженерно-техническим и рабочим персоналом;

- отсутствие системной подготовки специалистов инженерно-технического состава для укомплектования ПИБ организаций РКП – обучение фактически происходит «по факту» в организациях-производителях РКТ;

- несовершенство механизмов материального и нематериального стимулирования специалистов испытателей и метрологов;

- не развита система комплексирования выполнения различных видов испытаний одним исполнителем;

- практически не развита система добровольной аккредитации специалистов организаций и предприятий на право проведения метрологической экспертизы.

Немаловажное значение для развития кадрового потенциала ПИБ РКП имеют социальные гарантии и компенсации за счет организаций и предприятий, где функционирует ПИБ. Основные направления и показатели (рассчитываются от числа нуждающихся работников ПИБ) социальных гарантий и компенсаций:

- доля работников, получающих кредиты, ссуды или другие социальные гарантии и компенсации на улучшение жилищных условий;

- доля работников, получающих различные социальные гарантии и компенсации на посещение спортивных учреждений;

- доля работников, получающих социальные гарантии и компенсации от организаций на приобретение путевок в пансионаты, санатории, дома отдыха;

- доля работников, награжденных любыми наградами за профессиональную деятельность, включая ведомственные награды, награды субъектов Российской Федерации, награды организаций и т.д.;

- доля неработающих пенсионеров, получивших социальные гарантии и компенсации за счет организации.

Указанные показатели социальных гарантий и компенсаций очевидным образом обобщаются на показатели и критерии безопасности РКП как высокотехнологического сектора экономики Российской Федерации [10].

Отметим также, что в качестве одного из обобщенных показателей повышения квалификации работников ПИБ следует использовать долю работников ПИБ, прошедших обучение (переподготовку) по специальности от числа работников, для которых требуется такое обучение (переподготовка).

1.3. Проблемные вопросы ПИБ РКП в части нормативно-правового и научно-методического обеспечения

В настоящее время ряд нормативно-технических документов, определяющих требования к системе испытаний в соответствии с современными подходами к обеспечению качества производимой продукции РКП, не разработаны (например, в части элементов конструкций РКТ, полученных с помощью аддитивных технологий) или содержат устаревшие требования. Это обусловлено рядом причин: введение дополнительных и уточнение имеющихся требований, обеспечивающих поддержание и повышение качества и надежности создаваемых и изготавливаемых изделий РКТ [11, 12]; введение дополнений в части применения современного испытательного технологического оборудования, средств измерений и контроля [13, 14]; уточнение требований промышленной и экологической безопасности в соответствии с современными нормативными документами [15]. Так, например, в связи с указанными причинами требуют переиздания отраслевые стандарты, разработанные

до 2005 года и регламентирующие общие правила проведения и организации заводских контрольных испытаний, методы испытаний на герметичность с применением масс-спектрометрических течеискателей, а также гидравлических и пневматических испытаний изделий на прочность и герметичность и др. Требуется переиздания ряд документов территориального планирования, учитывающих особенности работы ПИБ РКП.

Работа по разработке и переизданию документов стандартизации РКТ сдерживается существующими в настоящее время нормативами трудоёмкости работ. В соответствии с действующими нормативами при разработке национального стандарта или стандарта Госкорпорации «Роскосмос» нормативы трудоёмкости составляют за один лист 22,5 н/ч, что недостаточно для ряда критически важных нормативных документов, например, таких как ОСТ 92-0215-85 [11].



Не проведены работы по разработке научно-обоснованного рационального метрологического каталога производственных испытаний изделий отрасли. «... Каталог должен четко показать потребности уровня измерений (объем, погрешность и др.) и «узкие» места измерений, препятствующие эффективному проведению и обеспечению требуемого качества испытаний. Он будет являться своеобразным метрологическим паспортом конкретного вида экспериментальных испытаний и позволит квалифицированно, планомерно и с минимальными затратами совершенствоваться по всей взаимосвязанной цепочке уровень измерений по каждому из направлений экспериментальных испытаний. Метрологический паспорт позволит также создать оптимальную структуру парка измерительной техники, соответствующей передовым достижениям отечественной и зарубежной практики, определить рациональные объемы автоматизации...» [2].

Одновременно с развитием метрологического каталога производственных испытаний актуальным представляется развитие и внедрение в работу ПИБ методических основ и средств технического оснащения интерактивных электронных технических руководств испытаний (ИЭТРИ) – «... совокупности электронных документов, технических данных и программно-технических средств, предназначенной для информационного обеспечения процессов...» испытаний «... продукции и предоставляющей пользователям возможность прямой и обратной связи между пользователем и руководством в режиме реального времени с помощью интерфейса электронной системы отображения...», аналогичных ИЭТР, развиваемых на двигателестро-

ительных производствах при сборке двигателей и их составных частей [16].

Несовершенство системы ценообразования и нормирования труда промышленных производственных испытаний обуславливает актуальность разработки единого согласованного методического подхода технико-экономического и сметно-бюджетного планирования и выполнения испытаний ПИБ РКП.

Актуальной остается проблема разработки научно-обоснованных критериев оценки экономической эффективности мероприятий по модернизации ПИБ [8].

В части методологии и средств измерений должны быть решены на требуемом уровне проблемные вопросы по трем основополагающим направлениям:

- обеспечение требуемой точности различных методов и средств измерений;
- закупка, создание и производство точных и достаточно чувствительных датчиков различных величин, необходимых для реализации мониторинга процессов в реальном масштабе времени и создания систем управления не только технологическими процессами испытаний, но и условиями окружающей среды;
- разработка стандартов, эталонов, подходящих систем единиц, протоколов для оценки качества создаваемой и производимой профильной продукции РКП, включая решение проблемных вопросов совместимости и эффективного взаимодействия программного и аппаратного обеспечения устройств управления технических средств испытаний, которые также нередко служат непреодолимым барьером для инноваций во многих развивающихся технологиях испытаний.

1.4. Проблемные вопросы системного планирования, научно-технического сопровождения и управления инновационного развития ПИБ РКП

Основные направления, определяющие перспективы в области совершенствования организационной структуры и управления ПИБ РКП [5, 17]:

- формирование системы координации деятельности научно-исследовательских и испытательных организаций, создание необходимых совещательных и экспертных органов [5], в том числе воссоздание деятельности совета главных технологов организаций и предприятий РКП [18], реорганизация деятельности института главных технологов проектов по созданию изделий РКТ [5];

- разработка нормативно-правовых документов, устанавливающих порядок и функциональные задачи межведомственной координации и внутриотраслевого управления планированием и реализацией мероприятий, обеспечивающих развитие ПИБ РКП [5];

- в структуре головной научно-исследовательской организации РКП необходимо восстановление деятельности целевого структурного тематического подразделения, на системной основе занимающего вопросами ПИБ РКП;

– создание базы знаний о состоянии, технологическом потенциале и перспективах развития ПИБ РКП России и ПИБ РКП передовых космических держав для информационного обмена участников процесса планирования и проведения испытаний, разработчиков и заказчиков продукции, реализация на ее основе механизмов управления полным жизненным циклом продукции РКП [9, 17]. Для обеспечения технологического и информационного единства испытаний должна быть создана информационно-аналитическая система, основанная на совокупности подходов, инструментов и методов обработки больших объемов данных и включающая в себя все информационные ресурсы в области испытаний продукции РКП. Кроме поддержания в актуальном состоянии реестра средств и методов ПИБ РКП информационно-аналитическая система должна обеспечивать накопление и структурирование данных в области испытаний продукции РКП, отвечающих критериям достоверности, полноты, актуальности и полезности для системы разработки, производства и эксплуатации продукции РКП, в том числе для обеспечения данными процессов математического моделирования;

– вопросы совершенствования основных положений согласно нормативным документам Госкорпорации «Роскосмос», регламентирующим порядок разработки, корректировки и реализации государственных программ Российской Федерации, федеральных целевых программ, государственного оборонного заказа, федеральной адресной инвестиционной программы в части капитальных вложений, методологии проведения и проведения технологического аудита [19], актуальность которых в условиях отсутствия предпроектной стадии РиТП и действия [20, 21] приобретает особую значимость в связи с необходимостью выполнения решения Президента Российской Федерации от 23.01.2021 «... об организации проведения технологического аудита...». В соответствии с [22, 23] с учетом апробации на предприятиях РКП методологии, предложенной в [19], целесообразной представляется разработка типовой методики технологического аудита ПИБ РКП, где технологический аудит предполагает несколько обязательных этапов проведения работ:

1. мониторинг состояния; определение перспективной производственной программы испытаний [19];

2. определение целевых показателей и индикаторов развития [10, 19] или определение целевого проектного решения, определяемых в зависимости от сроков, объемов финансирования и целевых задач проведения работ по технологическому аудиту, проектам-аналогам [24] экспертным методом на основе известных критериев и показателей [10] на основе результатов технологического проектирования [25];

3. определение «узких мест» состояния кадров и организации работ на ПИБ, недостатков или несовершенства применяемых технологий [19, 23];

4. разработка предложений по мероприятиям, обеспечивающим требуемое развитие ПИБ [19, 25];

– создание новых отраслевых центров компетенций по видам испытаний, в том числе:

1. отраслевого центра контроля качества покупных комплектующих изделий, материалов и полуфабрикатов, в том числе металлических, задачи которого изложены в [26];

2. отраслевого центра металлографии, в задачи которого должны входить выполнение металлографических испытаний (исследований) на микроскопах, определение твердости материалов, определение шероховатости образцов, определение химического состава материалов, определение дисперсных параметров суспензий и порошкообразных материалов, подготовка микрошлифов с их запрессовкой;

3. отраслевого центра метрологического обеспечения качества РКТ и технического регулирования, основные цели создания которого [11, 26] – обеспечение процедуры утверждения типа нестандартизованных средств измерений и обеспечение применения испытательного оборудования и средств измерений в соответствии с требованиями [24] и других действующих норм метрологического обеспечения;

4. отраслевого центра создания виртуальных испытательных стендов (ВИС), при работе которых применяется аналитическое построение и научное обоснование обобщенной параметрической имитационной модели системы испытаний, а также



выбор или разработка методов ее численного анализа в рамках расширенной постановки комплекса сопряженных задач [27]. Применение технологий ВИС повышает информативность глубоко автоматизированной обработки результатов испытаний с элементами интеллектуальной поддержки принятия

решений, прежде всего, за счет выявления скрытых связей между исходными данными и полученными результатами испытаний, а также научно обоснованного поиска «блуждающих» ошибок в алгоритмах функционирования систем и контуров управления испытаниями РКТ и их составных частей.

2. Современные тенденции развития ПИБ РКП

В настоящее время ЭИБ НЭО РКТ и ПИБ РКП, необходимыми для самостоятельной разработки и производства РКТ, обладает ограниченное число стран: Россия, США, Европейский Союз, КНР, Япония, Индия и Израиль. Ряд стран (Бразилия, Южная Корея, Тайвань, Иран, Северная Корея и Казахстан) находятся в процессе создания полноценной системы испытаний РКТ. Характерной особенностью организации системы испытаний изделий РКТ всех указанных стран является наличие централизованных государственных органов управления развитием ЭИБ НЭО РКТ и ПИБ РКП.

Общие проблемы системы испытаний продукции РКП России и ведущих иностранных государств – старение основных производственных фондов, повышение технического уровня средств испытаний, повышение качества и надежности образцов продукции, растущая потребность в новых технологиях и квалифицированных кадрах.

Общими тенденциями развития системы испытаний являются:

- создание научно-технического задела (НТЗ) в методическом, технологическом и аппаратурно-техническом обеспечении системы испытаний за счет реализации бюджетных программ исследований и разработок в области испытаний и оценок продукции. Внутри страны, где создается НТЗ за счет бюджетных программ, проводится политика открытости использования результатов создаваемого НТЗ для всех государственных и частных компаний, в деятельности которых необходима ПИБ РКП;
- обязательное рациональное применение унификации и стандартизации методического, технологического и аппаратурно-технического обеспечения системы испытаний;
- сохранение и перманентная технологическая модернизация имущественного комплекса ПИБ РКП, гармонизированная с создаваемым НТЗ по системе испытаний;

- наличие и постоянное совершенствование единой системы управления операционной деятельностью и развитием ПИБ РКП на основе программно-целевых методов управления, постоянного мониторинга состояния системы испытаний и широкого применения информационных и телекоммуникационных технологий;
- постоянная актуализация нормативной документации в области испытаний продукции, гармонизация стандартов и научно-методического обеспечения проведения испытаний;
- развитие максимально возможной объединенной инфраструктуры испытаний продукции посредством комплексирования испытательных ресурсов в условиях территориальных и технологических ограничений;
- повышенное внимание к вопросам развития кадрового потенциала, обеспечения промышленной и экологической безопасности.

Приоритетными направлениями развития ПИБ РКП в настоящее время являются:

- совершенствование системы мониторинга технологического развития ПИБ РКП, в том числе учета технологических возможностей ПИБ: электронная база данных включает в себя описание объектов и технологий ПИБ РКП организаций-производителей РКТ как собственных, так и иностранных, принадлежащих и федеральной собственности, и частным коммерческим фирмам;
- реализация программ обучения и повышения квалификации в области испытаний ПИБ РКП, сопровождение программ аттестации персонала испытателей на ПИБ РКП;
- совершенствование системы централизованного управления развитием ПИБ;
- расширение диапазона ответственности и ключевых компетенций системы испытаний до начальных стадий жизненного цикла изделий РКТ, в том числе производственных испытаний на ПИБ РКП;

- метрологическое обеспечение ПИБ РКП;
- создание и внедрение цифровой базы знаний производственных испытаний;

- развитие технологий и инфраструктуры ПИБ РКП, в том числе:

1. бесконтактные методы измерений;
2. автоматизация и цифровизация ПИБ РКП в обеспечение контроля качества и испытаний изделий РКТ, БРТ и их составных частей;

3. внедрение средств аппаратно-программной фиксации результатов испытаний с последующей их обработкой с привлечением средств интеллектуальной поддержки принятия решений;

4. создание опытно-теоретического фундамента для привлечения методов численного и имитационного моделирования повышенной точности и технологий ВИС для разработки цифровых двойников объектов испытания и процессов их функционирования при испытаниях;

5. интеграция ПИБ РКП в единое информационное пространство для обеспечения возможности информационного обмена в рамках сквозных систем поддержки жизненного цикла (доступа к данным испытаний) РКТ и БРТ.

Интересно отметить, что технологии виртуальных испытательных стендов [27], интерактивных электронных технических руководств в производстве [16], фото- и видеодокументирования в РКП [28] и разработка метрологического каталога про-

изводственных испытаний по существу являются научно-техническим заделом и предвестником создания в пятом технологическом укладе [29, 30] робототехнических систем испытаний (РСИ) ПИБ РКП. Создание и внедрение РСИ ПИБ РКП имеет ряд важных следствий:

1. РСИ могут заменить во многих испытательных процессах рабочую силу, что с неизбежностью приведёт к росту выработки на ПИБ РКП, устранению «человеческого фактора» в обеспечении качества испытаний;

2. решается ряд проблем с недоукомплектованностью испытательных подразделений организаций и предприятий квалифицированным кадровым потенциалом;

3. высокопроизводительное робототехническое испытательное оборудование будет стимулировать организации и предприятия «комплексировать» различные виды испытаний, в том числе диверсифицировать выполнение испытательных работ, поскольку РСИ дорогие, и для их рентабельной работы необходимо выполнение больших объемов работ;

4. для молодых испытателей появится стимул «интересной работы» и неформального образования;

5. естественным эффективным образом решаются задачи создания космических роботов для работы в околоземном пространстве при освоении Луны и планет Солнечной системы.

3. Основные концептуальные положения новых этапов развития ПИБ РКП

С учетом рассмотрения проблемных вопросов состояния и тенденций развития замысел развития ПИБ РКП на перспективный плановый период 10 лет и дальнейшую перспективу заключается:

- в реализации определенных на основе данных постоянного мониторинга состояния и технологического аудита ПИБ РКП первоочередных и безотложных мероприятий модернизации ПИБ, финансируемых из бюджетных и внебюджетных (собственных, кредитов, субсидий) средств, обеспечивающих устранение условий, при которых реализуются несвоевременное определение или техническая невозможность определения дефектов производства, включая недостаточно эффективный контроль качества изделий, обуславливающих отказы при эксплуатации РКТ по производственным причинам;

- в реализации форсированного технического перевооружения метрологического обеспечения, в том числе средств измерений ПИБ РКП;

- в реализации сбалансированной поэтапной общетехнологической модернизации ПИБ до требуемого технологического и технического уровней:

1. обеспечивающих оценку необходимой номенклатуры и количества характеристик производимой продукции, а также соответствующего современному технологическому укладу производства РКТ;

2. основанных на ключевых факторах, определяющих современный уровень разработки и производства РКТ и функционирования ПИБ РКП: достижениях и перспективах инновационного развития РКТ и промышленных технологий их разработки, испытаний и производства; достижения и перспек-



тивы в области информационных, цифровых, телекоммуникационных технологий, методов суперкомпьютерного и имитационного моделирования; достижениях и перспективах в области естественных и технических наук; развитии системы обеспечения качества и оценки соответствия продукции; развитии системы управления жизненным циклом продукции и переходу к интегрированным сетевым моделям организации производства; достижениях и перспективах в области повышения уровня человеческого капитала, производительности труда и выработки.

Развитие ПИБ осуществляется на основе принципов:

- соответствия сроков развития ПИБ РКП срокам развития опытных и серийных (мелкосерийных) производств профильной продукции РКП;
- импортнезависимости;
- унификации и стандартизации средств и методов ПИБ РКП;
- диверсификации технологий и обеспечения возможности использования средств и методов ПИБ РКП в других отраслях ОПК и гражданских отраслях промышленности;
- опережающего развития метрологического обеспечения, том числе и средств измерений;
- инновационности мероприятий по развитию ПИБ РКП;

а также принципов, разработанных АО «ЦНИИМаш» для ЭИБ НЭО РКТ и применимых для ПИБ РКП:

- соответствии нормативно-правового и нормативно-технического регулирования в области деятельности ЭИБ и ПИБ РКП национальным целям и стратегическим задачам развития Российской Федерации, основным направлениям государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности, развития ОПК, целям и стратегическим задачам развития Госкорпорации «Роскосмос», основным направлениям военно-технической политики, государственной программы «Космическая деятельность России», государственной программы «Развитие оборонно-промышленного комплекса» в части РКП, иным государственным документам стратегического планирования;
- системности, предусматривающей комплексное и всестороннее рассмотрение задач ПИБ РКП и ЭИБ для НЭО РКТ и взаимосвязанной со всей си-

стемой разработки, производства, поставки, эксплуатации и утилизации профильной продукции РКП;

- координации управления и научно-технического сопровождения, предполагающей функционирование (работу) отраслевой и межведомственной системы краткосрочного, среднесрочного и стратегического планирования развития ПИБ РКП и ЭИБ для НЭО РКТ;
- обеспечения единой технической политики и концентрации ресурсов на решении приоритетных задач программно-целевыми методами;
- обеспечения объективности оценок качества испытываемых образцов, включающего в себя обеспечение комплексности определения уровня технических характеристик и эксплуатационных свойств образцов продукции и соблюдение независимости проводимых оценок от заказывающих органов и организаций-исполнителей;
- обеспечения эффективности реализации программ деятельности и развития ПИБ РКП и ЭИБ НЭО РКТ на основе постоянного мониторинга ситуации в области испытаний продукции и оперативной выработки оптимизационных решений в целях исключения рисков неисполнения мероприятий по созданию продукции.

Главной целью развития ПИБ РКП является повышение эффективности системы испытаний продукции и организационно-технического уровня проведения испытаний, отвечающего требованиям системы разработки и производства продукции РКП на этапах ее производства, основе наращивания потенциала и ключевых компетенций ПИБ организаций и предприятий РКП, соответствующих современным принципам организации испытательной деятельности и лучшим российским и мировым практикам в этой области и обеспечивающих:

- своевременность, полноту и достаточность, достоверность результатов испытаний и оценки соответствия характеристик образцов продукции РКП заданным тактико-техническим требованиям на основе технологической модернизации и технического перевооружения ПИБ РКП и ее метрологического обеспечения, совершенствования структуры, механизмов управления и организации взаимодействия ПИБ РКП со всеми элементами системы разработки и постановки на производство профильной и диверсифицированной продукции РКП;

- формирование перспективного организационно-технического облика ПИБ РКП и совершенствование научно-методического обеспечения системы испытаний на основе создания новых и модернизации существующих стендовых комплексов, разработки и внедрения новых базовых и критических технологий испытаний, в том числе комплексного внедрения передовых цифровых и интеллектуальных технологий испытаний, технологий виртуальной и дополненной реальности, внедрения методов имитационного и математического моделирования;
- промышленную и экологическую безопасность функционирования ПИБ РКП;
- развитие кадрового потенциала ПИБ РКП;
- повышение качества и надежности производимой профильной продукции РКП, повышение экономической эффективности системы испытаний продукции на основе совершенство-

вания методов планирования операционной деятельности и реализации целевых программ развития ПИБ организаций и предприятий РКП, сокращения сроков и уменьшения стоимости испытаний продукции РКП, приводящих к повышению производительности труда и росту выработки на ПИБ РКП.

Для реализации развития ПИБ РКП, отвечающей современным требованиям и особенностям, должна быть разработана Комплексная программа развития ПИБ РКП, согласованная с целями, задачами и сроками государственной программы «Космическая деятельность России» и государственной программы «Развитие оборонно-промышленного комплекса» в части РКП на новый программный период и дальнейшую перспективу, а также учитывающая возможности бюджетного финансирования и финансирования из внебюджетных средств мероприятий по развитию ПИБ РКП.

Выводы

1. Проведен системный анализ и определены основные проблемные вопросы современного состояния ПИБ РКП. Определены базовые направления мероприятий, направленных на решение проблемных вопросов развития ПИБ РКП:

- производственно-технологическая модернизация ПИБ на основе реконструкции, технического перевооружения и нового строительства (РиТП), инновационной реализации технологических НИОКР;
- осуществление сбалансированной кадровой политики, направленной на обеспечение ПИБ РКП квалифицированными кадрами;
- развитие нормативной и методической базы ПИБ;
- системное планирование и научно-техническое сопровождение инновационного развития ПИБ.

2. Сформулированы замысел и принципы, определены цели и задачи развития ПИБ РКП на перспективный плановый 10-летний период и дальнейшую перспективу.

Первоочередные критические направления технологической модернизации ПИБ РКП:

- создание общеотраслевой базы знаний проблемных вопросов состояния и функционирования ПИБ РКП, обуславливающих неполное и несвоев-

ременное определение производственных дефектов создаваемой и изготавливаемой профильной продукции РКП, являющихся причиной возникновения производственных отказов при эксплуатации космических средств выведения и космических аппаратов, а также разработка современного нормативного обеспечения организации работ по выявлению и устранению несоответствий, дефектов, отказов изделий;

- разработка и реализация мероприятий по развитию ПИБ РКП, обеспечивающих решение проблемы обнаружения производственных дефектов, которые могут приводить к нештатным режимам эксплуатации и функционирования РКП;
- техническое перевооружение и технологическая модернизация средств метрологического обеспечения, в том числе средств измерений;
- реализация мероприятий по РиТП в обеспечение промышленной и экологической безопасности.

3. Обоснована целесообразность эксплуатации испытательного оборудования и установок ПИБ РКП с возрастом до 20 лет, определена предельно допустимая доля испытательного оборудования ПИБ РКП старше 20 лет – $\leq 30\%$.

4. Для современного этапа развития ПИБ РКП определены предельные допустимые характери-



ки материально-технической базы метрологического обеспечения испытаний:

- доля средств измерений с возрастом до 10 лет – $\geq 59,9\%$;
- доля средств измерений старше 20 лет – $\leq 30,5\%$;
- доля эталонов с возрастом до 10 лет – $\geq 75,3\%$.

5. Определена принципиальная значимость технологического аудита для эффективного научно-технического сопровождения развития ПИБ РКП, сформулированы четыре обязательных этапа проведения работ по технологическому аудиту:

5.1 Мониторинг состояния, определение перспективной производственной программы испытаний.

5.2 Определение целевых показателей и индикаторов развития или определение целевого проектного решения, определяемых в зависимости от сроков, объемов финансирования и целевых задач проведения работ по технологическому ау-

диту и проектам-аналогам экспертным методом на основе известных критериев и показателей, а также основе результатов технологического проектирования.

5.3 Определение «узких мест» состояния кадров и организации работ на ПИБ, недостатков или несовершенства применяемых технологий.

5.4 Разработка предложений по мероприятиям, обеспечивающим требуемое развитие ПИБ.

6. Сформулированы предпосылки роботизации процессов испытаний и определены последствия роботизации ПИБ РКП.

Автор благодарит Распопову Н.П. и Иванину А.А. (АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева») за обсуждение с автором актуальных методических вопросов реализации технологических аудитов в организациях РКП.

Библиографический список

1. Кузин А.И., Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Перспективы развития экспериментальной и испытательной баз производства изделий РКТ // Вестник «НПО «Техномаш». – 2017. – №4. – С. 21–24.
2. Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Состояние и направления развития производственной испытательной базы РКП // Вестник «НПО «Техномаш». – 2018. – №8. – С. 23–26.
3. Кондратенко А.Н. Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2020. – №2. – С. 21–32.
4. Власов Ю.В., Кузин А.И., Поморцев П.М., Кондратенко А.Н. Состояние технологической готовности и метрологического обеспечения производственно-технологической базы отрасли для обеспечения бездефектного производства перспективных изделий РКТ, проблемные вопросы и предложения по их решению // Вестник «НПО «Техномаш». – 2019. – № 9. – С. 79–83.
5. Кондратенко А.Н. Сопровождение инновационного развития производства и методика определения реализации программ по созданию ракетно-космической техники // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №3. – С. 23–39.
6. Смоляк С.А. О вероятностных моделях для оценки остаточного срока службы и износа машин и оборудования. // Экономика и управление народным хозяйством. – 2017. – № 2(185). – С. 75–87.
7. Смоляк С.А. Методы и модели в экономике. // Труды ИСА РАН. – 2020. – Том 70., № 1. – С. 55–64.
8. Кондратенко А.Н. Особенности реализации и предложения по оптимизации организации реализации капитальных вложений в ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №1, – С. 36–41.
9. Российская Федерация. Президент (2012–2018; В.В. Путин). О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы: Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 №203 / Российская Федерация. Президент (2012–2018; В.В. Путин). – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения 10.11.2022).

10. Кондратенко А.Н. Критерии безопасности ракетно-космической промышленности и особенности формирования перечня промышленных базовых и критических технологий // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №2. – С. 34–39.
11. Рябчиков П.В., Тарасов В.В., Журков В.В. Вопросы качества и надежности, реализуемые в рамках Программы стандартизации ракетно-космической техники // Вестник «НПО «Техномаш». – 2022. – №1. – С. 72–4176.
12. Кирьянов И.Е. Современное состояние лабораторно-исследовательской базы АО Корпорация МИТ и необходимость актуализации применяемой нормативной документации // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №4. – С. 57–61.
13. ГОСТ 16504-81 Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2011. – 24 с.
14. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26.06.2008 №102-ФЗ; принят Государственной думой 11.07.2008; одобрен Советом Федерации 18.07.2008 (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021). – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27684> (дата обращения 10.11.2022).
15. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ; принят Государственной думой 20.12.2001; одобрен Советом Федерации 26.12.2001 (ред. от 30.12.2021). – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17718> (дата обращения 10.11.2022).
16. Воронежский Е.В. Внедрение интерактивных электронных технических руководств в производственные процессы АО НПО Энергомаш // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №4. – С. 62–65.
17. Кондратенко А.Н. Вопросы методологии сопровождения, реализации и информационного обеспечения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, технологических работ и инвестиционных проектов // Вестник «НПО «Техномаш». – 2022. – №1. – С. 28–42.
18. Кондратенко А.Н. Особенности реализации и предложения по оптимизации организации реализации капитальных вложений в РКП // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №1. – С. 36–41.
19. Кондратенко А.Н. Технологический аудит и планирование инвестиционных проектов государственных и федеральных целевых программ // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №2. – С. 25–33.
20. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации и приостановлении действия постановления Правительства Российской Федерации от 12.05.2008 № 590 и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 14.04.2022 №655. – [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204150038> (дата обращения 10.11.2022).
21. Методика оценки эффективности инвестиционных проектов, предусматривающих строительство, реконструкцию, в том числе с элементами реставрации, техническое перевооружение объектов капитального строительства, приобретение объектов недвижимого имущества, финансовое обеспечение которых полностью или частично осуществляется из федерального бюджета в рамках государственного оборонного заказа: утверждена решением президиума (штаба) Правительственной комиссии по региональному развитию в РФ, протокол от 23.06.2022 № 33. – [Электронный ресурс]. URL: http://www.economy.gov.ru/material/file/953fb5d971646d48763fce00074191b0/metodika_grzazhdanskih_obektov.pdf (дата обращения 10.11.2022).
22. ГОСТ Р 57194.3–2016 Трансфер технологий. Технологический аудит. – М.: Стандартиформ, 2016. – 38 с.
23. ГОСТ Р 58920-2021. Технологический инжиниринг и проектирование. Технический и технологический аудиты. Основные положения и показатели. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 10 с.
24. О порядке проведения проверки инвестиционных проектов на предмет эффективности использования средств федерального бюджета, направляемых на капитальные вложения: постановление Правительства Российской Федерации от 12.08.2008 №590. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.government.ru/docs/all/65115> (дата обращения 10.11.2022).



25. ГОСТ Р 58918-2021. Технологический инжиниринг и проектирование. Технологическая документация. Общие требования к составу. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 8 с.
26. Дорохин Ю.Н., Круглов И.А., Круглова Ю.В. Обеспечение качества изделий ракетно-космической техники. Проблемные вопросы организации входного контроля и предложения по их решению // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №4. – С. 24–27.
27. Крюков С.К., Зарницына Е.А. Применение виртуальных испытательных стендов в ракетной технике // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (В рамках II Молодежного форума студентов и курсантов оборонных специальностей вузов России. С именем Калашникова): Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (Ижевск). – 2022. – С. 95–101.
28. Дорохин Ю.Н., Круглов И.А., Сумбуров С.А. Результаты внедрения фото- и видеодокументирования в ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №2. – С. 66–67.
29. Гринин Л.Е., Коротаев А.В. Кондратьевские волны: длинные и среднесрочные циклы. – Волгоград: Учитель, 2014. – 256 с.
30. Вдовина А.А. Понятие «технологический уклад» в системе экономических категорий и новые технологические уклады общественного развития // Креативная экономика. – 2019. – Том 13. – № 4. – С. 605-618. doi: 10.18334/ce.13.4.40522.

Кондратенко Александр Николаевич – канд. техн. наук, эксперт АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8(495) 689-96-90.

E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

Kondratenko Aleksandr Nikolaevich - Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

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

E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

УДК 629.7:658.531

Кондратенко А.Н.
Kondratenko A.N.

Методологические аспекты определения функциональных зависимостей производительности труда и трудоёмкости при создании и производстве профильной продукции ракетно-космической промышленности

Methodological aspects of determining the functional dependences of labor productivity and labor intensity in the creation and production of aerospace core products

Предложен эффективный способ определения производительности труда, обеспеченный наличием достаточно разработанной современной статистической базы отчетности организаций и предприятий гражданских отраслей экономики, оборонно-промышленного комплекса, в том числе ракетно-космической промышленности, не требующей дополнительной разработки и запросов индикаторов и показателей производственной и экономической деятельности организаций и предприятий. Сформулирован принцип «инвариантной предсказательности», которому должны удовлетворять любые функциональные зависимости технико-экономических характеристик создания и производства каких-либо изделий от определяющих параметров, позволяющие проводить прогноз поведения этих характеристик при создании и производстве новых изделий. Обоснована актуальность разработки методик определения трудоёмкости изделий ракетно-космической техники и их составных частей, удовлетворяющих принципу «инвариантной предсказательности».

An effective way of determining labor productivity, provided by the presence of sufficiently developed modern statistical reporting base of organizations and enterprises of civil industries, military-industrial complex, including the aerospace industry, not requiring additional development and requests for indicators and indexes of production and economic activity in organizations and enterprises, is proposed. The principle of «invariant predictability» is formulated, which should satisfy any functional dependence of the technical and economic characteristics of the creation and production of any products from the defining parameters, allowing to predict the behavior of these characteristics in the creation and production of new products. The relevance of the method development for determining the labor intensity of aerospace products and their components, satisfying the principle of «invariant predictability», has been substantiated.

Ключевые слова: выработка, живой и прошлый труд, затраты, принцип, производительность труда, ракетно-космическая техника, трудоемкость.

Keywords: output, live and past labor, costs, principle, labor productivity, aerospace equipment, labor intensity.

Функциональные зависимости производительности труда от определяющих параметров

Показатель производительности труда L_p является результирующим и определяющим фактором эффективности использования трудовых ресурсов, эффективности использования основных фондов и организации производственно-технологических процессов [1–6], используемых технологий [7], но не является единственным показателем эффективности машиностроительных производств. В условиях роста экономики и необходимости насыщения рынка необходимым количеством промышленных товаров,

дефицита кадров интересны не только рост производительности труда, но и рост выпуска производимой промышленной продукции, который определяется как минимум двумя показателями:

– выработка V – объём произведенной продукции на одного работника [3, 8, 9]. Необходимость знания показателей выработки особенно важна в условиях дефицита высококвалифицированных кадровых работников и необходимости обеспечения роста объема продукции (оказываемых услуг)



на одного работника, а также для технологических переделов с высокой преобладающей долей живого труда. Например, в сборочно-испытательных процессах создания и эксплуатации космических ракетных комплексов в ракетно-космической промышленности (РКП);

– фондоотдача K_f – объём выпуска продукции, обеспечиваемый единицей стоимости основных фондов [10].

Результаты развития ракетно-космической техники (РКТ) показывают, что производительность труда в сильной степени зависит от уровня применяемых технологий. Например, увеличение сроков активного существования космических аппаратов, многократные первые ступени ракет-носителей [9]. Это обстоятельство для общего случая различных производств учитывается в модели «Солоу» [7] и работах других авторов [11–13] технологическим коэффициентом (многофакторной производительностью) A . Зависимость от технического уровня T_y производства [14–15] учитывается зависимостью производительности труда от фондоотдачи $K_f = K_f(T_y, \dots)$.

Введём обозначения величин аналогично [8, 9]: E_l – затраты живого труда, E_m – затраты прошлого труда, P – объём продукции (услуг).

Ниже приведены зависимости для параметров:

– выработка

$$V = \frac{P}{E_l}; \quad (1)$$

– затратноотдача

$$K_{zf} = \frac{P}{E_m}; \quad (2)$$

– производительность труда

$$L_p = \frac{P}{E_l + E_m}; \quad (3)$$

– коэффициент соотношения затрат живого и прошлого труда

$$x = \frac{E_l}{E_m}. \quad (4)$$

Из (1)–(4) после несложных преобразований получаем явную зависимость производительности труда от выработки (1) и от соотношения затрат живого и прошлого труда (4):

$$L_p = \frac{\frac{P}{E_l}}{1 + \frac{E_m}{E_l}} = \frac{V}{1 + \frac{1}{x}} = \frac{Vx}{1+x}. \quad (5)$$

Расчеты уровня выработки (1) V и коэффициента соотношения затрат живого и прошлого труда (4) x обеспечены наличием достаточной разработанной статистической базы отчетности организаций и предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), в том числе РКП, не требующей дополнительной разработки и запросов индикаторов и показателей производственной и экономической деятельности организаций и предприятий [3, 6, 9, 16–18]. Как показано в [7 и 8] «...разработаны принципы [1, 3, 17, 18] и методики расчета производительности труда для ряда гражданских отраслей экономики (для черной металлургии [18], для сельского хозяйства [19], для предприятий легкой промышленности [3])...». В [8] предложен эффективный метод измерения производительности труда для организаций, выполняющих работы по изготовлению и пускам ракет космического назначения (РКН) для доставки полезной нагрузки (ПН) в космос. Тем не менее, до настоящего времени разработанные принципы и методики не стали началом расчетов правильного исчисления производительности труда по (3) [7, 20]. На основе действующей базы отчетности организаций и предприятий отраслей экономики, в том числе РКП и смежных отраслей ОПК [20], соотношение (5) позволяет проводить расчет и оценку производительности труда относительно простым и доступным способом, с достаточной для практических оценок точностью и не требующим разработок каких-либо дополнительных методик.

Для технико-экономического анализа эффективности осуществляемых затрат прошлого (опосредованного) труда эффективным является использование функциональной зависимости выработки (1) и затратноотдачи (6), получаемой как следствие из (2), (5):

$$K_{zf} = Vx \quad (6)$$

С учетом (5) для прогнозных оценок поведения производительности труда принципиально актуальной является задача определения явных функциональных зависимостей выработки и коэффициента соотноше-

ния затрат живого и прошлого труда от значимых определяющих параметров. В настоящее время такие зависимости не определены. Принимая во внимание результаты исследований [8–13, 21, 22], целесообразно проведение работ в классе функциональных зависимостей (7):

$$V = V(K_f(T_y, \dots), H, A) \quad x = x(K_f(T_y, \dots), H, A) \quad (7)$$

где $K_f = K_f(T_y, \dots)$ – фондоотдача, H – индекс человеческого капитала, A – технологический коэффициент (многофакторная производительность) [11–13, 21, 22].

Функциональные зависимости трудоемкости от определяющих параметров

Обзор известных аналитических инженерных методик [7], позволяющих по ограниченной конструкторской и технологической информации о создаваемых изделиях РКП и их составных частях [22–27] и создаваемых составных частях авиационной техники [28, 29] прогнозировать с приемлемой для практики точностью их трудоемкость на ранних этапах проектирования (до начала выпуска технологической документации, в том числе на этапе аванпроекта), показывает, что установленные функциональные зависимости (8) трудоемкости T от определяющих параметров d_{pi} :

$$T = f(d_{p1}, d_{p2}, \dots, d_{pm}), \quad (8)$$

где: $1 \leq i \leq m$, m – число определяющих параметров, полученных на основе применения:

- методов аппроксимации с минимизацией отклонений [30] фактических значений T от значений, получаемых по (8);
- методов минимизации риска при выборках ограниченного объема для задачи восстановления регрессии, развитых В.Н. Вапником [31];
- методов теории корреляционного и факторного анализа с использованием подходов линейного программирования [30, 32].

Установленные функциональные зависимости (8) удовлетворяют всем требованиям указанных методов [31–32], а во множестве определяющих параметров $\{d_{pi}\}$ этих зависимостей есть безразмерные параметры и параметры, имеющие размерность. Далее будет рассматриваться случай, когда все параметры имеют размерность и который очевидным образом обобщается на общий случай, где часть параметров являются безразмерными (например, номер ступени ракеты-носителя, число включений двигателя и т.д.).

Методы теории размерности физических величин и теории подобия для физических величин [33] очевидным образом обобщаются для исследования технико-экономических параметров экономических

закономерностей [34]. Принципиальные выводы этих фундаментальных теорий:

- устойчивые функциональные связи между различными исследуемыми параметрами не зависят от системы единиц измерения;
- связь между $(m + 1)$ размерными величинами $T, d_{p1}, d_{p2}, \dots, d_{pm}$, из которых первые k величин из значений $\{d_{pi}\}$ имеют независимую размерность, независима от выбора системы единиц измерения, и принимает вид соотношения между $(m + 1 - k)$ величинами B, B_1, \dots, B_{m-k} , представляющими собой безразмерные комбинации из $m + 1$ размерных величин – π -теорема [33]:

$$B = f(1, 1, \dots, B_1, \dots, B_{m-k}). \quad (9)$$

Отсюда следует принцип «инвариантной предсказательности», которому должны удовлетворять любые функциональные зависимости от определяющих параметров технико-экономических характеристик создания и производства каких-либо изделий, в том числе и зависимости (8): «Любые функциональные зависимости, правильно описывающие устойчивую связь исследуемой технико-экономической характеристики с определяющими ее размерными параметрами и которые могут быть использованы для прогноза поведения этой характеристики при создании и производстве новых изделий, не зависят от системы единиц измерения и удовлетворяют требованиям π -теоремы».

Анализ известных установленных зависимостей (8) [22–27] показывает, что все они с приемлемой для практических расчетов точностью – $\leq 10\%$ описывают функциональную связь трудоемкости с определяющими ее размерными параметрами, но не удовлетворяют принципу «инвариантной предсказательности» – обоснованная применимость установленных зависимостей (8) по ранее выполненным исследованиям, в частности по работам [22–27], распространяется только на уже созданные изделия и их составные части. Для решения



вопросов прогноза трудоемкости создания новых изделий актуальной является задача уточнения зависимостей (8) в части удовлетворения требованиям принципа «инвариантной предсказательности». По сути вопроса, при использовании методов аппроксимации [30], методов минимизации риска при выборках ограниченного объема для задачи восстановления регрессии [31], методов теории корреляционного и факторного анализа с использованием подходов линейного программирования [30, 32], для установления зависимостей (8), удовлетворяющих требованиям принципа «инвариантной предсказательности», функциональное решение необходимо искать на множестве безразмерных переменных $\{B, B_1, \dots, B_{m-k}\}$. При этом число независимых определяющих параметров $\{B_1, \dots, B_{m-k}\}$ на k единиц меньше, чем число определяющих размерных параметров $\{d_{p1}, d_{p2}, \dots, d_{pm}\}$, а k – число размерных параметров из множества $\{d_{pi}\}$, имеющих независимую размерность, а $\{B_1, \dots, B_{m-k}\}$ – безразмерные комбинации из $\{d_{p1}, d_{p2}, \dots, d_{pm}\}$, B – безразмерная комбинация из T и $\{d_{p1}, d_{p2}, \dots, d_{pm}\}$.

В качестве примера определим класс функциональных зависимостей трудоемкости создания маршевых жидкостных ракетных двигателей от размерных определяющих параметров.

Множество размерных независимых определяющих параметров [35]:

- m_s – сухая масса (масса конструкции) двигателя, кг;
- m_t – масса заправленного двигателя (или масса топлива), кг;
- I_n – удельный импульс пустотный, с;

- P_n – тяга двигателя, кгс;
- L – высота (длина) двигателя, м;
- D – диаметр среза сопла, м;
- T – время работы двигателя, с;
- P_{kc} – давление в камере сгорания, кгс/м²;
- V – скорость истечения газов, м/с.

Как правило, среди безразмерных параметров учитывается коэффициент компонентов топлива:

$$K_{km} = \frac{d_o^{-0.1} \cdot k_{co} + d_g^{-0.1} \cdot k_{cg}}{k_{co} + k_{cg}}, \quad (10)$$

где: d_o – удельный вес окислителя; d_g – удельный вес окислителя и горючего, k_{co} , k_{cg} – коэффициенты соотношения масс компонентов окислителя и горючего ступени РН [23, 36].

Среди установленных $m=9$ размерных определяющих параметров имеются $k=3$ независимые базовые размерности: метр, секунда, килограмм. Тогда, исходя из принципа «инвариантной предсказательности», класс искомым функциональных зависимостей трудоемкости создания маршевых двигателей определяется зависимостью (11):

$$T = f\left(\frac{P_n I_n^2}{m_s D}, \frac{L}{D}, \frac{m_t}{m_s}, \frac{T}{I_n}, \frac{P_{kc} D I_n^2}{m_s}, \frac{VT}{D}, K_{km}\right) \quad (11)$$

Зависимость (11), кроме указанных независимых параметров, может также содержать изначально безразмерные независимые параметры, такие как номер ступени, на которой используется двигатель, количество включений двигателя и т.д.

Выводы

На основе явной функциональной зависимости производительности труда только от выработки и коэффициента соотношения затрат живого и опосредованного (прошлого) труда предложен эффективный способ определения производительности труда. Расчеты выработки и коэффициента соотношения затрат живого и опосредованного труда обеспечены наличием достаточной разработанной современной статистической базы отчетности организаций и предприятий гражданских отраслей экономики, ОПК, в том числе РКП, не требующей дополнительной разработки и запросов индикаторов и показателей производственной и экономической деятельности организаций и предприятий.

Для прогнозных оценок поведения производительности труда принципиальной и актуальной является задача определения явных функциональных зависимостей выработки и коэффициента соотношения затрат живого и прошлого труда от значимых определяющих параметров – фондоотдачи, индекса человеческого капитала, технологического коэффициента. В настоящее время такие зависимости для РКП не определены.

Сформулирован принцип «инвариантной предсказательности», которому должны удовлетворять любые функциональные зависимости технико-экономических характеристик создания и производства каких-либо изделий от определяющих параметров,

позволяющие проводить прогноз поведения этих характеристик при создании и производстве новых изделий – независимость от системы единиц измерения и удовлетворения требованиям π -теоремы.

В части соответствия требованиям принципа «инвариантной предсказательности» актуальной является задача уточнения разработанных аналитических инженерных методик, позволяющих по ограниченной конструкторской и технологической информации о создаваемых изделиях РКП

и их составных частях определять с приемлемой для практики точностью их трудоемкость на ранних этапах проектирования. В настоящее время таких методик определения трудоемкости, удовлетворяющих принципу «инвариантной предсказательности», не разработано.

Для маршевых жидкостных двигателей определен класс функциональных зависимостей трудоемкости от определяющих независимых размерных параметров.

Библиографический список

1. Маркс К. и Энгельс Ф. Сочинения /Маркс К., Энгельс Ф. – 2-е издание. – М.: государственное издательство политической литературы, 1960. – т. 23 (С. 49, С. 635-636), т. 24 (С. 424).
2. Ленин В.И. Полное собрание сочинений, т.39. – М.: Политическая литература, 1970. – С.21.
3. Гаврилов Р.В. Повышение производительности труда. – Ижевск: Удмурдия, 1972. – 123 с.
4. Киреев, В.Е. Эволюция подходов к исследованию производительности труда в контексте экономической безопасности [Электронный ресурс]. [2016]. URL: <http://net.knigi-x.ru/> (дата обращения: 9.08.2021).
5. Барышева А.В. Экономический рост и производительность труда. – М.: Наука, 1980. – 187 с.
6. Методические указания к разработке Государственных планов экономического и социального развития. – М.: Экономика, 1980. – 776 с.
7. Кондратенко А.Н. Исследования вопросов выработки и производительности труда // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №4. – С. 71–80.
8. Кондратенко А.Н. Исследования вопросов выработки и производительности труда. Часть 2 (продолжение) // Вестник «НПО «Техномаш». – 2022. – №1. – С. 87–98.
9. Кондратенко А.Н. Развитие основных фондов ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2022. – №2(19). – С. 56–67.
10. Solow R.M. Technical Change and the Aggregate Production Function // Rev. Econ. Stat. – 1957. – Т. 39. – № 3. – С. 312–320.
11. Полтерович В.М. Проблемы и методы региональной диагностики // Экономика и управление. – 2014. – № 1. – С. 49–54.
12. Зайцев А.А. Межстрановые различия в душевых ВВП и производительности труда: роль капитала, уровня технологий и природной ренты. – Москва: Препринт, Московская Школа Экономики МГУ им. М.В. Ломоносова, 2016. – 78 с.
13. Зайцев А.А. Межстрановые различия в производительности труда: роль капитала, уровня технологий и природной ренты // Вопросы экономики. – 2016. – Т. 9. – № 9. – С. 67– 93.
14. Жемердеев О.В., Кондратенко А.Н. Определение состояния технического потенциала предприятий на основе модифицированной модели факторов производства // 17-я Международная конференция Авиация и космонавтика – 2018 (19–23 ноября 2018 г., Москва). Тезисы. – М.: Люксор. – 2018. – С. 608–609.
15. Жемердеев О.В., Кондратенко А.Н. Метод определения состояния технического потенциала предприятий на основе модифицированной модели факторов производства // Вестник Московского авиационного института. – 2019. – т. 26. – №1. – С. 230–235.
16. Новожилов В.В. Статистическая методология изучения производительности труда в народном хозяйстве СССР. – М.: Госстатиздат, 1958. – С. 45.
17. Струмилин С.Г. Статистическая методология изучения производительности труда в народном хозяйстве СССР. – М.: Госстатиздат, 1958. – С. 33.
18. Струмилин С.Г. Проблемы экономики труда. – Избранные произведения: В 5-ти томах. – М.: Наука, 1964, т.3. – С. 1–327.



19. Немчинов В.С. Применение нормативной статистики при изучении производительности труда в сельском хозяйстве – Ученые записки по статистике, том II. – М.: АН СССР, 1956. – С. 232.
20. Об утверждении Методики расчета показателей производительности труда предприятия, отрасли, субъекта Российской Федерации и Методики расчета отдельных показателей национального проекта Производительность труда и поддержка занятости: приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 28.12.2018 №748 (ред. от 2012.2021). – [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_28_dekabrya_2018_g_748.html?ysclid=1b63yoi0k1703518955 (дата обращения 14.11.2022).
21. Caselli F. Accounting for Cross-Country Income Differences // Handb. Econ. Growth. – 2005. – Т.1. – SUPPL. PART A. – С. 679–741.
22. Voskoboynikov I. Sources of productivity growth in Eastern Europe and Russia after transition // IARIW-UNSW Special Conference on Productivity Measurement, Drivers and Trends (Sydney, 26-27 Nov.), 2013. – 53 p.
23. Галкин Н.А., Кондратенко А.Н., Швед В.В., Швед Е.В. Методика укрупнённого расчёта трудоёмкости изготовления ракет-носителей // Двойные технологи. – 2019. – №4(89). – С. 10–14.
24. Галкин Н.А., Кондратенко А.Н., Гапоненко О.В., Чирюкин Е.В., Свиридова Е.С. Методический подход к укрупнённому расчету трудоёмкости изготовления космических аппаратов // Вестник МАИ. – 2019. – том 26. – №2. – С. 20–33.
25. Чмелев Г.Б., Михайлов А.Н., Галкин Н.А., Пожидаев С.С. Расчетные зависимости оценки трудоёмкости изготовления жидкостных ракетных двигателей средств выведения на основе существующего научно-технического задела // Под общей редакцией В.И. Петрова. – ФГУП «НПО «Техномаш», 2013. – 72 с.
26. Галкин Н.А., Гаврин Д.С., Фомин Е.Ю., Пожидаев С.С., Утешев С.И., Семенов И.А., Серов Е.В., Дергачева Е.С. Укрупнённый расчет трудоёмкости изготовления ракет-носителей с последовательным и смешанным расположением ступеней // Вестник «НПО «Техномаш». – 2017. – №3. – С. 54–56.
27. Вейко А.В., Кохно П.А. Функционально-стоимостные модели разработки и изготовления ракет-носителей / Методы и инструменты экономики успеха: монография / Коллектив авторов. – М.: Юр-ВАК, – 2016. – 216 с.
28. Михайлова Н.А. Механизм прогнозирования трудоёмкости серийного изготовления ГТД на этапе аванпроекта: дис. канд. экон. наук: 08.00.05: защищена 20.10.2010; утв. 2010/ Михайлова Надежда Александровна. ГОУ ВПО Рыбинская государственная авиационная академия имени П.А. Соловьева, 2010. – 217 с. – Машинопись.
29. Михайлова Н.А. Методика определения трудоёмкости изготовления изделия на этапе формирования портфеля заказов предприятия // Вестник ИНЖЕКОНА. Экономика. – СПб.: СПбГИЭУ – 2008. – Вып. 6 (25). – С. 308–312.
30. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192с.
31. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В.Н. Вапник – М.: Наука. – 1979. – 448 с.
32. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс: Учебник – 6-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Дело, 2004. – 576 с.
33. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
34. Drobot S., Warmus M. Dimensional Analysis in Sampling Inspection of Merchandise // Rozprawy Matematyczne. V. Warszawa. – 1954. – 54 p.
35. Основные характеристики ракетных двигателей. URL: <http://www.modelizd.ru/ship> (дата обращения: 01.12.2022). – Текст электронный.
36. Технологичность конструкции изделия. URL: <https://www.ppt-online.org/2911382> (дата обращения: 9.08.2021). – Текст электронный.

Кондратенко Александр Николаевич – канд. техн. наук, эксперт АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.
Тел.: 8(495) 689-96-90.
E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

Kondratenko Aleksandr Nikolaevich - Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-96-90.
E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

УДК 006.1

*Круглов И.А., Тарасов В.В., Сумбуров С.А., Ионов А.Г.
Kruglov I.A., Tarasov V.V., Sumburov S.A., Ionov A.G.*

Результаты выполнения плана работ по стандартизации с учетом новых требований системы стандартизации Госкорпорации «Роскосмос»

Results of the standardization work plan with respect to the new requirements of State Space Corporation Roscosmos standardization system

Стандартизация является одной из опор в построении системы обеспечения качества ракетно-космической техники. Систематическая работа по актуализации фонда документов по стандартизации является обязательной в обеспечении качества и надежности изделий и конкурентоспособности продукции отечественной ракетно-космической промышленности на мировой арене.

Standardization is one of the pillars in building a quality assurance system for aerospace equipment. Systematic work on actualization of standardization documents fund is obligatory in providing quality and reliability of products and competitiveness of Russian aerospace industry products in the global stage.

Ключевые слова: стандартизация, документы по стандартизации, программа стандартизации, ракетно-космическая техника, фонд документов по стандартизации.

Keywords: standardization, standardization documents, standardization program, aerospace equipment, standardization documents fund.

Системная работа по поддержанию и постоянной актуализации фонда документов по стандартизации (ДС) на уровне, соответствующем современному развитию науки и техники с учетом наиболее прогрессивных подходов и методов, является одной из важных составляющих – как в поддержании конкурентоспособности изделий ракетно-космической техники (РКТ) и их составных частей во всем мире, так и в обеспечении требуемого качества и надежности на всех стадиях жизненного цикла изделий.

Регулярная проверка на соответствие современному научно-техническому уровню и пересмотр ДС обеспечивают необходимую информационную базу всей системы обеспечения качества продукции ракетно-космической промышленности (РКП).

АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» является крупнейшим в РКП держателем фонда ДС РКТ, составляющим более 40 % от всего объема ДС РКП [1]. Такое положение обусловлено тем, что АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» является головной научно-исследовательской организацией (ГНИО) по технологиям создания РКТ и метрологическому обеспечению ее производственно-технологической базы. Состав фонда ДС в области технологии машиностроения включает общетехнические и организационно-методические документы, нормативы, руководства, правила, типовые технологические процессы, а также стандарты типового технологического оборудования и иные документы.

Ресурсное обеспечение для поддержания и совершенствования фонда ДС

Одной из составляющих частей Государственной программы стандартизации Российской Федерации являются работы, проводимые организациями РКП, государственным заказчиком которых выступает Государственная корпорация по космической дея-

тельности «Роскосмос». Госкорпорацией «Роскосмос» ежегодно актуализируется Программа работ по стандартизации РКТ. Значительный объем работ по стандартизации выполняет ГНИО – АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».



Задачи, решаемые в результате выполнения работы

В рамках выполнения Программы работ по стандартизации РКТ направлением стандартизации совместно с другими тематическими подразделениями АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» по различным технологическим направлениям решались следующие основные задачи:

1. Актуализация действующих в настоящее время ДС РКТ по результатам их проверки на соответствие современному уровню развития науки и техники (как на национальном, так и на международном уровне).

2. Разработка новых стандартов, целью которых являлось обеспечение и повышение качества и надежности РКТ, а также совершенствование технического регулирования РКТ на всех стадиях жизненного цикла изделий РКТ и их составных частей.

3. Анализ мировых тенденций и разработка предложений по актуализации Программы работ

по стандартизации РКТ, в том числе учитывающей необходимость обеспечения гармонизации фонда документов с соответствующими международными стандартами (группами стандартов).

4. Развитие и совершенствование нормативно-технического обеспечения производства изделий РКТ для поддержания заданного уровня качества изготовления изделий.

5. Координация работ по стандартизации, проводимых предприятиями-разработчиками и изготовителями РКТ, а также реализация единой технической политики в области стандартизации и технического регулирования по закрепленным за АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» направлениям.

6. Обеспечение соответствия показателей и норм, устанавливаемых в ДС и других нормативных документах по закрепленной тематике, современным требованиям научно-технического уровня и действующего законодательства.

Результаты выполнения АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» Программы работ по стандартизации РКТ в 2022 году

В 2022 году в результате проведенных исследований по оценке научно-технического уровня ДС РКТ выполнен существенный объем работ по актуализации 275 ДС РКТ с выпуском соответствующих изменений к ним. Фактические показатели составили порядка 18% от всего объема фонда ДС РКТ АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» или 65% от всех актуализированных ДС РКТ по отрасли, что позволило превысить плановые показатели (не менее 10%).

Актуализация ДС РКТ осуществлялась в соответствии с ОСТ 134-1.21-99 «Система стандартизации Госкорпорации «Роскосмос». Порядок разработки и внесения изменений в документы по стандартизации ракетно-космической техники» [2].

По сравнению с 2021 годом количество проведенных изменений ДС РКТ увеличилось в 1,7 раза (табл. 1 и рис. 1), что является рекордным показателем за последние семь лет. В целом, тенденция к увеличению интенсивности работ прослеживается на протяжении последних нескольких лет. Таким образом, можно с уверенностью говорить о том, что на государственном уровне есть четкое понимание важности системной работы в области стандартизации как фундамента создания перспективных

образцов новой техники на уровне лучших мировых аналогов.

Также в 2022 году вновь разработаны проекты отраслевых стандартов Госкорпорации «Роскосмос»:

- окончательная редакция СТО ГК Роскосмос «Контроль технологической дисциплины»;
- окончательная редакция СТО ГК Роскосмос «Комплексы ракетные и космические. План подготовки опытного производства. Общие положения, требования к содержанию»;
- окончательная редакция СТО ГК Роскосмос «Комплексы ракетные и космические. План подготовки серийного производства. Общие положения, требования к содержанию»;
- окончательная редакция СТО ГК Роскосмос «Комплексы ракетные и космические. Технологическое обеспечение. Содержание основных организационно-технических документов и мероприятий».

Разработка указанных стандартов Госкорпорации «Роскосмос» проводилась в соответствии с СТО ГК Роскосмос 01.0002-2017 «Система стандартизации Госкорпорации «Роскосмос». Стандарты организаций. Порядок разработки, утверждения, обновления и отмены» [3].

Таблица 1

Выполненные работы	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
Актуализация ДС РКТ с выпуском изменений, шт.	18	13	130	152	157	160	275

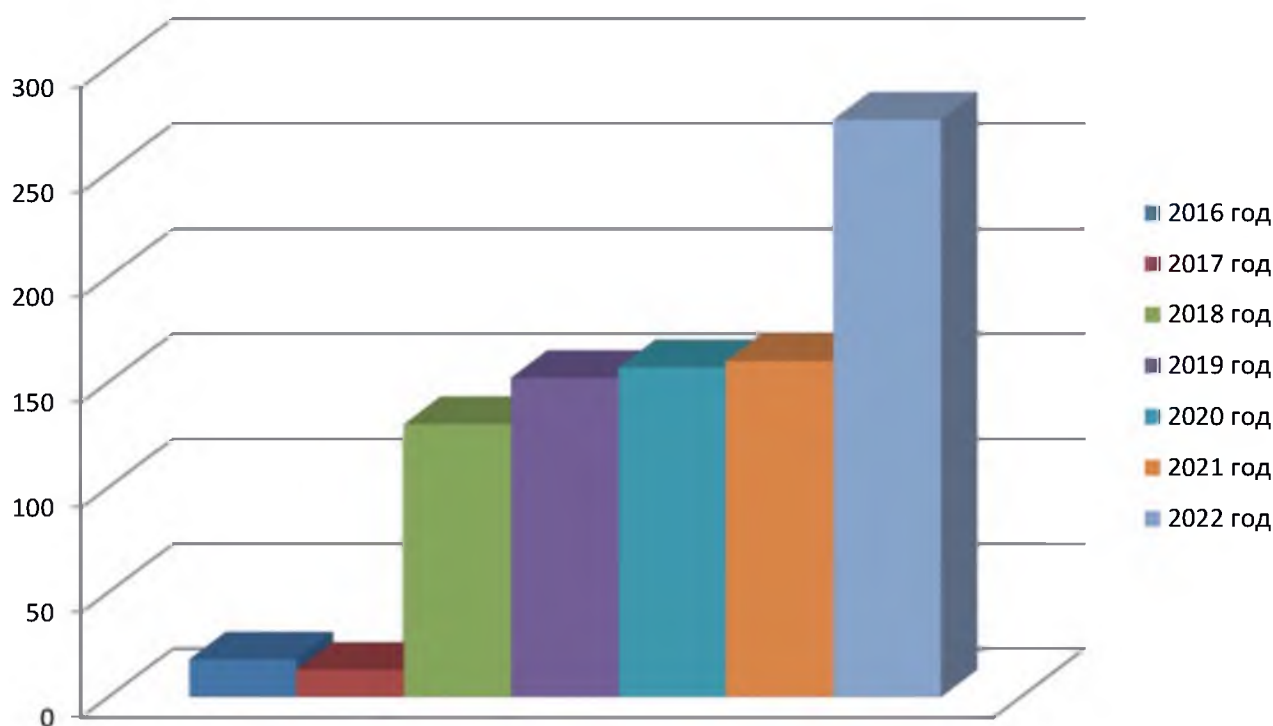


Рис. 1. Актуализация ДС РКТ с выпуском изменений

Следует отметить, что разработка новых документов по стандартизации осуществлена при непосредственном участии не только организаций, входящих в структуру Госкорпорации «Роскосмос», но и научных институтов и организаций, входящих в ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» и АО «Объединенная двигателестроительная корпорация».

Реализованная разработка является «первой ласточкой» в предстоящей большой работе по актуализации и переработке огромного объема документов по стандартизации РКТ, целью которой является обеспечение устойчивого развития системы обеспечения качества РКТ и самой РКП, а также повыше-

ние конкурентоспособности отечественных средств выведения и космических систем.

Несмотря на текущую геополитическую обстановку, совместно с головной организацией по стандартизации РКТ – АО «ЦНИИмаш», продолжены работы по направлению международной стандартизации. За 2022 год рассмотрено более 30 новых международных стандартов и изменений к уже действующим стандартам.

Повышение качества продукции, снижение административных барьеров и выстраивание единой отраслевой политики в системе управления качеством – важнейшие отраслевые задачи, успешно решаемые АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».



Библиографический список

1. Рябчиков П.В. Вопросы качества и надёжности, реализуемые в рамках Программы стандартизации ракетно-космической техники / П.В. Рябчиков, В.В. Тарасов, В.В. Жуков // Вестник НПО Техномаш. – 2022. – № 1(18). – С. 72–76. – EDN NJRNKQ.
2. ОСТ 134-1.21-99 Система стандартизации Госкорпорации «Роскосмос». Порядок разработки и внесения изменений в документы по стандартизации ракетно-космической техники. – МО, г. Королев: ЦКБС ФГУП «ЦНИИ машиностроения», 1999. – 37 с.
3. СТО ГК Роскосмос 01.0002-2017 Система стандартизации Госкорпорации «Роскосмос». Стандарты организаций. Порядок разработки, утверждения, обновления и отмены. – МО, г. Королев: АО «ЦНИИ-маш», 2017. – 30 с.

Круглов Игорь Александрович – заместитель директора центра АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8(495) 689-95-94, доб. 23-09.

E-mail: I.Kruglov@tmnpo.ru

Kruglov Igor Aleksandrovich – Deputy Center Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: 8(495) 689-95-94, ext. 23-09.

E-mail: I.Kruglov@tmnpo.ru

Тарасов Вадим Вячеславович – руководитель направления АО «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева».

Тел.: 8(495) 689-96-22, доб. 96-22.

E-mail: VV.Tarasov@tmnpo.ru

Tarasov Vadim Viacheslavovich – Area Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

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

E-mail: VV.Tarasov@tmnpo.ru

Сумбуров Сергей Алексеевич – руководитель направления АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-96-88, доб. 22-37.

E-mail: S.Sumburov@tmnpo.ru

Sumburov Sergei Alekseevich – Area Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: 8 (495) 689-96-88, ext. 22-37.

E-mail: S.Sumburov@tmnpo.ru

Ионов Антон Геннадьевич – начальник отдела АО «ЦНИИмаш».

Тел.: 8(495) 513-43-31.

E-mail: Ionov-AG@tsniimash.ru

Ionov Anton Gennadievich – Department Head of JSC «TsNIIMash».

Tel.: 8(495) 513-43-31.

E-mail: Ionov-AG@tsniimash.ru

УДК 629.78:658.51

Лобанов А.В., Лобастов М.М., Шмелева А.Н.
Lobanov A.V., Lobastov M.M., Shmeleva A.N.

Подготовка опытного и серийного производства РКТ. Основные требования

Preparation of pilot and serial production of aerospace equipment. Basic requirements

Статья посвящена актуальным проблемным вопросам подготовки опытного и серийного производства изделий ракетно-космической техники. Рассмотрены не только аспекты технологической и организационно-технической частей на этапе подготовки документации изделий серийного производства, но и требования к организациям-разработчикам и организациям – изготовителям изделий ракетно-космической техники.

The article is devoted to current problematic issues of preparation for pilot and serial production of aerospace equipment. Not only aspects of technological and organizational-technical parts at the stage of preparation for documentation of serial production products, but also requirements to organizations-developers and organizations manufacturing aerospace products are considered.

Ключевые слова: опытное производство, серийное производство, подготовка производства, план подготовки производства.

Keywords: pilot production, serial production, production preparation, production preparation plan.

Подготовка опытного и серийного производства как совокупность работ и мероприятий, обеспечивающих технологическую и организационную готовность производства к выпуску опытных или серийных изделий ракетных, ракетно-космических и космических комплексов и их составных частей (далее – изделия, изделия РКТ), является составной частью системы технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий РКТ.

Подготовка опытного и серийного производства регламентирована требованиями Положений РК-98 (РК-98-КТ), РК-11 (РК-11-КТ), ГОСТ РВ 0015–301–2020 [1], [2], [3], национальными стандартами и отраслевыми нормативными документами на ракетную, ракетно-космическую и космическую технику (далее – НД, НД на РКТ).

Основными документами организации к изготовлению изделий РКТ являются планы подготовки опытного или серийного производства.

Порядок подготовки производства, а также контроля и регулирования выполнения запланированных работ и мероприятий должен определяться в НД организаций-изготовителей с учётом положений НД на РКТ.

В НД организаций-изготовителей должны быть установлены лица, ответственные за разработку плана подготовки производства, а также организацию и управление процессами подготовки производства.

При необходимости для отдельных работ и мероприятий подготовки производства допускается выпускать дополнительные планирующие документы: план материально-технического снабжения, план технологического перевооружения производственной базы, план разработки и изготовления технологической оснастки и другие. Указанные документы должны прилагаться к плану подготовки производства изделий РКТ. Также в обязательном порядке разрабатывается план метрологического обеспечения.

При подготовке опытного производства должны быть решены следующие основные задачи:

- проведение рациональных по срокам и ресурсам работ по технологической подготовке опытного производства (ТПОП) опытных образцов изделий РКТ;
- формирование определяющих (принципиальных) технологических и организационных решений по производству опытных образцов изделий РКТ;
- выявление и решение принципиальных проблем технологии и организации производства;



– своевременное обеспечение производства технологической документацией (ТД), материалами, покупными (комплектующими) изделиями (включая комплектующие изделия межотраслевого применения) (далее – ПКИ, КИМП), средствами технологического оснащения, испытательным и контрольно-проверочным оборудованием, средствами измерительной техники на основе использования (при их создании или приобретении) массивов описаний конструкторско-технологических решений и средств технологического оснащения;

– своевременное обеспечение исходной технологической информацией материально-технических и организационно-экономических процессов подготовки производства, в том числе реконструкции, своевременного расширения имеющихся производственных площадей или нового строительства (при необходимости);

– обеспечение организационной, информационной и технической совместимости работ по ТПОП, проводимых на стадии подготовки опытного производства опытных образцов изделий РКТ различными организациями;

– разработка ТД для изготовления опытных образцов изделий РКТ, которая должна обеспечить выполнение требований конструкторской документации (КД) при его изготовлении;

– разработка критичных технологических процессов (ТП) (операций) и определение особо ответственных операций (ТП);

– отработка новых ТП в соответствии с планом экспериментальной отработки ТП и технологической частью комплексной программы экспериментальной отработки опытных образцов изделий РКТ;

– обеспечение организационной готовности организации-изготовителя к выполнению работ в обеспечение производственного процесса изготовления и испытаний опытных образцов изделий РКТ;

– обеспечение технологической готовности производства организации-изготовителя к изготовлению и испытаниям опытных образцов изделий РКТ;

– оценка и анализ влияния рисков на качество изготавливаемых изделий;

– разработка (определение) по согласованию с отделом технического контроля (ОТК) системы технического контроля (объекты контроля и испытаний, виды контроля, перечень контролируемых операций и последовательность их выполнения,

техническое оснащение этих операций и испытаний, режимы, методы, средства механизации и автоматизации контроля и испытаний, а также другие компоненты системы) как неотъемлемой части технологических процессов.

Подготовка опытного производства к изготовлению опытных образцов изделий РКТ должна обеспечивать организационную, информационную и техническую совместимость работ по технологической подготовке опытного производства на основе применения:

– рациональных параметрических и типоразмерных рядов объектов опытного производства (изделий);

– типовых конструкторско-технологических, технологических и организационных решений, в том числе типовых (групповых) технологических процессов и унифицированных средств технологического оснащения;

– требований действующей нормативно-технической документации системы разработки и постановки на производство военной техники (СРПП ВТ), единой системы конструкторской документации (ЕСКД), единой системы технологической документации (ЕСТД), единой системы программной документации (ЕСПД), системы менеджмента качества (СМК) организаций-изготовителей;

– прогрессивных информационных технологий на основе единых баз данных конструкторско-технологического назначения;

– методов информационного и математического моделирования процессов ТПОП;

– методов сетевого планирования и управления ТПОП;

– преимущественности и документирования организационных решений по ТПОП на этапах разработки и изготовления опытных образцов изделий РКТ;

– интенсивной компьютерной поддержки процессов ТПОП;

– постоянной обновляемости и достоверности информации, а также своевременности и простоты доступа к ней с учетом обеспечения санкционированного доступа к информации (конструкторской, технологической, производственной), изделиям, материалам и оборудованию, представляющим информацию ограниченного распространения.

Обязательными условиями при разработке мероприятий по подготовке опытного производства опытных образцов изделий РКТ являются:

- использование технологических решений, обеспечивающих выполнение требований, установленных в КД;

- включение в план мероприятий, обеспечивающих реализацию предварительных директивных технологических документов (ДТД), технологичность и применение прогрессивной технологии при производстве, а также безопасность сборочных и монтажных работ;

- согласование ведомости применяемых материалов организацией-изготовителем;

- обеспечение применения действенных и результативных (в том числе автоматизированных) методов и средств технического контроля, измерений и технической диагностики при производстве;

- выполнение мероприятий, связанных с организацией операционного контроля, производственного контроля, приёмочного контроля, а также обеспечения единства измерений;

- соблюдение требований по обеспечению безопасности работ при изготовлении опытных образцов изделий РКТ;

- обеспечение соблюдения требований эргономики и технической эстетики при создании рабочих мест;

- обеспечение выполнения требований директивных и нормативных документов по защите сведений, составляющих государственную тайну и (или) информацию конфиденциального характера;

- наличие согласованного головной научно-исследовательской организацией ракетно-космической промышленности (ГНИО РКП) по материаловедению на этапе разработки рабочей документации перечня применяемых в изделиях комплекса и его составных частях (СЧ) материалов.

Организации-изготовители опытных образцов изделий РКТ проводят проверку и оценку фактического выполнения плана подготовки опытного производства с привлечением, при необходимости, экспертов от ГНИО РКП по направлениям технологии и материаловедения.

По результатам проверки готовность конкретных производственных подразделений организации-изготовителя к изготовлению опытных образцов изделия РКТ оформляется справками о готовности таких подразделений к изготовлению изделий. Справки утверждаются в порядке, установленном НД организации-изготовителя. Они включаются

в акт комиссии по проверке и оценке готовности организации-изготовителя в целом.

Готовность опытного производства к изготовлению опытных образцов изделия комплекса и его СЧ оформляют актом (или другим документом), согласованным с организацией-разработчиком изделия РКТ, военным представительством Министерства обороны Российской Федерации (ВП МО РФ) (если контроль ВП МО РФ предусмотрен условиями договора на создание изделий) и утверждённым согласно НД организации.

Задачами подготовки производства на этапе подготовки документации на изделия серийного производства являются:

- проведение или завершение головной организацией-изготовителем серийных изделий РКТ и организациями-изготовителями их составных частей совместно с головной организацией-разработчиком изделий, организациями-разработчиками их составных частей и ГНИО РКП по технологическому направлению анализа производственной технологичности решений, заложенных в КД на изделия РКТ;

- подготовка (корректировка) организациями-разработчиками изделий РКТ КД на серийные изделия РКТ с учетом заключения о производственной технологичности, присвоение КД литеры «О₁» и передача комплектов КД организациям-изготовителям серийных изделий;

- уточнение, при необходимости, ДТД организациями-разработчиками изделий РКТ и передача их организациям-изготовителям серийных изделий;

- подготовка (корректировка) организациями-изготовителями опытных образцов изделий РКТ, разработанных ТД и КД на средства технологического оснащения, и передача их организациям-изготовителям серийных изделий;

- разработка организациями-изготовителями серийных изделий РКТ планов-графиков технологической подготовки серийного производства;

- оценка и анализ влияния рисков на качество изготавливаемых изделий;

- обеспечение (поддержание) надежности в процессе серийного производства и эксплуатации по программам обеспечения (поддержания) надежности изделий РКТ.

В процессе подготовки документации на изделия серийного производства:



- организации-разработчики проводят корректировку КД по результатам лётных испытаний и подготовку к предъявлению её межведомственной комиссии, а также уточняют в КД номенклатуру изделий электронной техники и электротехники категории качества «ОС» и перечень покупных изделий электронной компонентной базы иностранного производства (если таковые применены в изделиях);
 - организации-разработчики изделий РКТ по результатам рассмотрения КД межведомственной комиссией присваивают ей литеру «О₁» и организуют передачу КД, программной документации организациям-изготовителям серийных изделий РКТ, а в случае принятия решения о начале серийного производства изделий РКТ по КД литеры «О» – передачу КД, имеющей литеру «О» и откорректированной по результатам комплексных и межведомственных испытаний;
 - организации, которые разработали ДТД, уточняют и передают их организациям-изготовителям серийных изделий РКТ. Одновременно организации-разработчики передают (при необходимости) разработанную ими КД на специальную оснастку и оборудование, контрольно-проверочную аппаратуру и испытательное оборудование организациям-изготовителям серийных образцов изделий РКТ;
 - организации-изготовители опытных образцов изделий РКТ и их СЧ, при необходимости, по согласованию (по договору) передают организациям-изготовителям серийных изделий и их СЧ комплект ТД, а также (при необходимости) КД на оборудование, специальную оснастку и инструмент, контрольно-измерительную аппаратуру и испытательное оборудование, управляющие программы для однотипного оборудования с числовым программным управлением, средства технологического оснащения, технического контроля, средства автоматизации и механизации производственных процессов, испытаний и измерений;
 - головная организация-разработчик изделия РКТ составляет ведомости спецификаций, а также сводную ведомость эксплуатационной документации (далее – ЭД), и согласовывает их с государственным заказчиком (заказчиком). Организации-соисполнители представляют головной организации-разработчику спецификацию и ведомости ЭД по своим изделиям для составления ведомости спецификаций и сводной ведомости ЭД на изделие РКТ в целом;
 - головная организация-разработчик изделия РКТ и организации-разработчики его СЧ уточняют режимы и условия применения покупных изделий, в том числе зарубежного производства (в случае их применения), комплектующих изделий, материалов и полуфабрикатов, гарантийные сроки на них. Если режимы, условия и гарантийные сроки не соответствуют требованиям ТУ на ПКИ, материалы и полуфабрикаты, то необходимо в установленном порядке согласовать их применение;
 - организации-изготовители серийных изделий РКТ и их СЧ совместно с ГНИО РКП по технологическому направлению проводят или завершают анализ КД на технологичность с оформлением заключения (акта), которое прикладывают к акту о готовности производства к серийному изготовлению комплекса и его изделий, а в случае принятия решения о начале серийного производства по КД, имеющей литеру «О» и откорректированной по результатам комплексных и межведомственных испытаний, и соответствующей ей ТД, подтверждённой в процессе проведения лётных испытаний, – к заключению о пригодности КД с литерой «О» к серийному изготовлению изделия комплекса и его СЧ;
 - организации-разработчики (изготовители) изделия РКТ и его СЧ проводят экспертное рассмотрение готовности документации к серийному производству изделия комплекса и его СЧ, в том числе с оценкой влияния технических рисков на качество изготавливаемых изделий.
- В процессе подготовки документации на изделия серийного производства по согласованию с ОТК организаций-изготовителей необходимо разрабатывать (уточнять) систему технического контроля как неотъемлемую часть технологических процессов.
- Подготовка серийного производства при технологическом обеспечении изготовления серийных изделий РКТ должна предусматривать проведение работ, направленных на следующее:
- рациональную по срокам и ресурсам технологическую подготовку серийного производства;
 - формирование определяющих (принципиальных) технологических и организационных решений по производству серийных образцов изделий РКТ;
 - выявление и решение принципиальных проблем технологии и организации производства, если эти проблемы не выявлены на этапе опытного производства;

- своевременное обеспечение производства ТД, материалами, ПКИ (включая КИМП), средствами технологического оснащения, испытательным и контрольно-проверочным оборудованием, средствами измерительной техники на основе использования, при их создании или приобретении, массивов описаний КТР и средств технологического оснащения;
- своевременное обеспечение исходной технологической информацией материально-технических и организационно-экономических процессов подготовки производства, в том числе реконструкции, расширении, модернизации имеющихся производственных площадей или нового строительства;
- обеспечение организационной, информационной и технической совместимости работ технологической подготовки производства, проводимых на стадии постановки изделий РКТ на серийное производство различными исполнителями;
- организационно-экономическую подготовку производства;
- выполнение мероприятий, связанных с организацией операционного контроля, производ-

ственного контроля, приёмочного контроля, а также обеспечения единства измерений;

- выполнение работ в соответствии с планом метрологического обеспечения.

Основанием для оформления акта готовности организации-изготовителя изделия РКТ к серийному производству является выпуск установочной серии (партии) изделия РКТ или головного образца и успешное проведение квалификационных испытаний.

Таким образом, полнота и правильность проведения подготовки опытного или серийного производства являются одним из основных факторов обеспечения качества при изготовлении опытных и серийных изделий РКТ, оптимизации затрат на изготовление изделий, а также обеспечение готовности организаций-изготовителей опытных и серийных изделий РКТ к изготовлению изделий, соответствующих требованиям тактико-технических (технических) заданий на их разработку, конструкторской документации (в том числе технических условий), технологической и программной документации и условиям государственных контрактов на их разработку или изготовление.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 55977-2014 Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство космической техники. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 11 с.
2. ГОСТ Р 59174-2020 Ракетно-космическая техника. Система отработки технологических процессов создания изделий. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2020. – 15 с.
3. ГОСТ Р 58125-2018 Системы космические. Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники. Организация и управление технологической подготовкой производства. – М.: Стандартинформ, 2018. – 26 с

Лобанов Андрей Владимирович – главный специалист АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8(495) 689-95-36, доб. 97-08. E-mail: a.lobanov@tm.fsa
Lobanov Andrei Vladimirovich –Principal Specialist of JSC «Afanasev «NPO «Technomac». Tel.: 8(495) 689-95-36, ext. 97-08. E-mail: a.lobanov@tm.fsa

Лобастов Максим Михайлович – заместитель главного конструктора АО «НПО Энергомаш». Тел.: 8(495) 286-90-99. E-mail: Maksim.Lobastov@npoem.ru
Lobastov Maksim Mikhailovich – Deputy Chief Designer of JSC «NPO Energomash». Tel.: 8(495) 286-90-99. E-mail: Maksim.Lobastov@npoem.ru


Шмелёва Алина Николаевна – ведущий специалист АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8 (999) 976-75-19. E-mail: shmeleva9696@mail.ru

Shmeleva Alina Nikolaevna – Leading Specialist of JSC «Afanasev «NPO «Technomac». Tel.: 8 (999) 976-75-19. E-mail: shmeleva9696@mail.ru

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

Подписано в печать 26.12.2022. Выход в свет 29.12.2022. Формат А4.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Усл.п.л. 10,5. Тираж 100 экз. Заказ № 23277.
Возрастная категория 12+



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

