



## Уважаемые коллеги!

8–9 сентября 2021 г. во ФГУП «НПО «Техномаш» в формате видеоконференции состоялось расширенное заседание секции № 10 «Проблемы технического и технологического развития ракетно-космической отрасли и экспериментально-испытательной базы» Научно-технического совета Госкорпорации «Роскосмос» с повесткой дня: «Вопросы научно-производственного и технологического развития отрасли и современное осмысление наследия первого министра общего машиностроения СССР, дважды Героя Социалистического труда С.А. Афанасьева».

В заседании приняли участие 25 членов секции № 10, а также более ста представителей организаций РКП: ФГУП «НПО «Техномаш», АО «ЦНИИмаш», АО «ИСС», АО «НПО Энергомаш», КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «Воткинский завод», ФКП «НИЦ РКП», АО «Комполит», ФГУП «ВИАМ», АО «Корпорация МИТ» и других.

В докладах, заслушанных на заседании, рассматривались актуальные вопросы:

1. Мировые тенденции развития технологий производства РКТ.
  2. Производственные и технологические возможности АО «Воткинский завод».
  3. Современное состояние и направление развития технологий создания перспективной РКТ.
  4. Вопросы создания материалов и покрытий нового поколения для перспективных изделий РКТ.
  5. Стратегические задачи цифровой трансформации производственного комплекса ракетно-космической отрасли.
  6. Вопросы повышения эффективности отраслевой системы управления качеством.
  7. Состояние и проблемные вопросы нормативного обеспечения технологического развития ракетно-космической отрасли.
  8. Организационно-технические проблемы ракетно-космической отрасли и пути их решения.
- Решение, принятое на расширенном заседании секции № 10, представлено руководству Госкорпорации «Роскосмос».

Рекомендовано организовать работы над Системным проектом по созданию отраслевой платформы цифровизации производственных подразделений в рамках задачи формирования модели новой производственной системы Госкорпорации «Роскосмос».

Также ФГУП «НПО «Техномаш» совместно с АО «Воткинский завод» рекомендовано разработать Положение об организации отраслевых центров компетенций (ОЦК) и включить в обязанности ОЦК анализ технической возможности изготовления и расчета цены продукции, направление ТКП заказчикам.

Признана необходимой разработка справочника по нормированию труда технологов, правил и порядка его использования при определении численности технологической службы.

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

А.И. Кузин



## СОДЕРЖАНИЕ

### ДОКЛАДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА СЕКЦИИ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСКОСМОС» «ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ»

*Власов Ю.В., Кузин А.И.*

Мировые тенденции развития технологий производства ракетно-космической техники.  
Перспективные решения ФГУП «НПО «Техномаш» ..... 4

*Галеев А.Г., Лисейкин В.А., Махлай А.А., Сизяков Н.П., Юрьев И.А.*

Современное состояние и пути развития экспериментально-испытательной базы  
в обеспечение обработки ЖРД, ДУ ЖРД и проведения ТВИ КА ..... 19

*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 ..... 24

*Русанов А.В.*

Возможности АО «Воткинский завод» по освоению инновационной продукции  
для решения задач по диверсификации производства ..... 27

*Масанов А.Г., Злотенко В.В.*

Изготовление гибких волноводов для космических аппаратов ..... 34

*Пантелеев К.Д., Цырков А.В., Чернодед И.И.*

Облик, архитектура и этапы создания электронной базы знаний по производственным  
технологиям предприятий ракетно-космической промышленности ..... 38

*Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Чернодед И.И., Захаров В.А.*

Основные направления НИР «Технология–2025» по мониторингу обеспечения опережающего  
производственно-технологического задела при создании перспективных изделий  
ракетно-космической техники ..... 44

*Базарова Л.С.*

Разработка технологии изготовления перспективных деталей из полуфабрикатов  
из алюминий-скандиевых сплавов для перспективных изделий БРТ и РКТ ..... 53

*Кириянов И.Е.*

Современное состояние лабораторно-исследовательской базы АО «Корпорация «МИТ»  
и необходимость актуализации применяемой нормативной документации ..... 57

*Воронежский Е.В., Максимов О.В.*

Внедрение интерактивных электронных технических руководств в производственные процессы  
АО «НПО Энергомаш» ..... 62

*Воронежский Е.В., Максимов О.В., Бреев Е.Ю.*

Применение цифровых технологий для изготовления трубопроводов обвязки ЖРД ..... 65

### ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

*Кондратенко А.Н.*

Исследования вопросов выработки и производительности труда ..... 71



## CONTENTS

### REPORTS OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL COUNCIL OF THE STATE CORPORATION «ROSCOSMOS» SECTION «PROBLEMS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE AEROSPACE INDUSTRY AND EXPERIMENTAL AND TESTING BASE»

*Vlasov Iu.V., Kuzin A.I.*

Global trends in the technology development of aerospace equipment manufacturing.  
FSUE «NPO «Technomac» advanced solutions . . . . . 4

*Galeev A.G., Liseikin V.A., Makhlai A.A., Siziakov N.P., Iurev I.A.*

The current state and development ways of the experimental and test capabilities to ensure the improvement  
of LPRE, LPRE propulsion systems and carrying out of space vehicles thermal vacuum tests . . . . . 19

*Dorokhin Iu.N., Kruglov I.A., Kruglova Iu.V.*

Quality assurance for the aerospace equipment products.  
Problem areas in the organization of input control and suggestions for their solution . . . . . 24

*Rusanov A.V.*

Opportunities of JSC «Votkinsky Zavod» for the innovative products  
implementation to solve manufacturing diversification objectives . . . . . 27

*Masanov A.G., Zlotenko V.V.*

Manufacturing of flexible waveguides for space vehicles . . . . . 34

*Panteleev K.D., Tsyrkov A.V., Chernoded I.I.*

Appearance, architecture, and stages on the development of an digital knowledge base on production  
technologies of aerospace industry enterprises . . . . . 38

*Panteleev K.D., Rakhmilevich E.G., Chernoded I.I., Zakharov V.A.*

The main directions in research effort «Technologies-2025» to monitor the ensuring of the advanced  
manufacturing and technological reserve in the advanced technology for aerospace  
products development . . . . . 44

*Bazarova L.S.*

Development of technology for manufacturing advanced parts from aluminum-scandium alloy  
semi-finished products for advanced missile and aerospace products . . . . . 53

*Kirianov I.E.*

Current state of the laboratory and research base of JSC «Corporation «MIT»  
and the need to update the applicable regulatory documents . . . . . 57

*Voronezhskii E.V., Maksimov O.V.*

Implementation of interactive digital technical manuals in the manufacturing processes of JSC  
«NPO Energomash» . . . . . 62

*Voronezhskii E.V., Maksimov O.V., Breev E.Iu.*

Application of digital technologies for LPRE pipelines manufacturing . . . . . 65

### ECONOMICS OF MECHANICAL ENGINEERING, PRODUCTION ARRANGEMENT

*Kondratenko A.N.*

The study on the production output and labor productivity . . . . . 71

УДК 629.78

*Власов Ю.В., Кузин А.И.*  
*Vlasov Yu.V., Kuzin A.I.*

**Мировые тенденции развития технологий производства  
 ракетно-космической техники.  
 Перспективные решения ФГУП «НПО «Техномаш»**

**Global trends in the technology development of aerospace equipment  
 manufacturing. FSUE «NPO «Technomac» advanced solutions**

Проведен обзор мировых тенденций технологий производства ракетно-космической техники. основополагающими направлениями являются: аддитивное производство, виртуальная и дополненная реальность, искусственный интеллект, робототехника и сенсорика, создание цифровых двойников изделий и производственных систем, виртуальные испытания, развитие традиционных технологий машиностроения. Приведены показатели снижения трудоемкости для данных направлений. Представлены перспективные проекты, реализуемые ФГУП «НПО «Техномаш» и направленные на создание отечественного научно-производственного задела для достижения интегральных показателей технологий не ниже мировых.

A review of global trends in manufacturing technology for aerospace equipment has been conducted. The fundamental directions are: additive manufacturing, virtual and augmented reality, artificial intelligence, robotics and sensorics, creation of product digital twins and production systems, virtual testing, development of traditional mechanical engineering technologies. The labor intensity reduction indexes for these directions are given. It presents promising projects implemented by FSUE «NPO «Technomac» and aimed at creation of domestic scientific and production reserve to achieve integral technology indicators not lower than the world ones.

**Ключевые слова:** технологии, ракетно-космическое производство, аддитивное производство, виртуальная и дополненная реальность, искусственный интеллект, робототехника, сенсорика, цифровые двойники

**Keywords:** technologies, aerospace manufacturing, additive manufacturing, virtual and augmented reality, artificial intelligence, robotics, sensorics, digital twins

Развитие мировой конкуренции в области космической деятельности в сферах расширения человеческого присутствия в космосе, эффективной навигации, зондирования Земли, связи и управления воздушным движением на беспрецедентных расстояниях, в высокоточных, интегрированных, распределенных системах моделирования изделий ракетно-космической техники (РКТ) следующих поколений формируется под воздействием современных тенденций развития новых инновационных решений:

- цифровизации промышленности;
- созданию новых материалов;
- технологии искусственного интеллекта;

– роботизации производства.

Для достижения преимущества ведущие страны-конкуренты в своих документах стратегического планирования в области технологий (Дорожная карта ЕКА, Таксономия технологий NASA) установили основополагающие направления развития технологий производства РКТ:

- аддитивное производство (аддитивные технологии – АТ);
- применение новых материалов, включая неметаллы;
- виртуальная и дополненная реальность (VR/AR);





а)



б)

Рис. 1. Международный опыт применения аддитивных технологий в авиакосмической отрасли:  
а) стартуп компании Launcher – ЖРД E2; б) двигатель SuperDraco компании SpaceX

- прогрессивное обслуживание промышленного оборудования;
- искусственный интеллект;
- робототехника и сенсорика;
- разработка цифровых двойников изделий и производственных систем;
- виртуальные испытания;
- развитие и совершенствование традиционных машиностроительных технологий.

Развитие указанных направлений требует достижения эффективного сочетания разработок инновационных технологий на основе существующего научно-технического задела (НТЗ) с разработками новых, в том числе прорывных технологий, в частности широкого внедрения аддитивного производства. Так, к примеру, опыт применения аддитивных технологий компаниями Launcher – по жидкостному ракетному двигателю E2 (ЖРД) (полностью изготовлен методом АТ и уже прошел огневые испытания) и SpaceX – по двигателю SuperDraco корабля CrewDragon показывает эффективность такого подхода (рис. 1).

Необходимо отметить, что предприятия ракетно-космической промышленности (РКП) активно развивают аддитивные технологии для достижения показателей технического уровня (ТУ) не ниже мирового в определяющих конструкторско-технологических решениях (КТР) перспективных изделий. Применение аддитивных технологий для изготовления перспективных несущих оболочковых конструкций баков ступеней ракеты-носителя «СТК» из полимерных конструкционных материалов (ПКМ) по-

зволяет снизить массу конструкции на 20–35%; трудоемкость изготовления – в 1,5–3 раза; энергоёмкость производства – до 8 раз; сроки создания конструкции в 4–5 раз.

Важно подчеркнуть, что эффективность применения аддитивных технологий объективно взаимосвязана с уровнем развития цифровых производств. Цифровизация производства на основе аддитивных технологий дает соответствующие преимущества по времени, затратам и показателям конструкторской технологичности изделий РКТ (рис. 2).

При этом современные тенденции развития цифрового производства обуславливают возможность, а стратегические цели развития направления по освоению космического пространства – необходимость применения аддитивного производства в космическом пространстве.

Необходимо отметить наличие у западных конкурентов широкого спектра направлений отработки технологий изготовления РКТ из неметаллов для определяющих КТР производства перспективного композитного ракетного блока:

- изготовление корпусов баков средств выведения;
- изготовление трубопроводов;
- изготовление силовых элементов конструкции методом плетения;
- получение (совершенствование) новых композиционных материалов и связующих;
- сопутствующие технологии – обеспечение герметизации и защиты от влияния компонентов топлива корпусов на материал конструкции, неразрушающий контроль элементов и компози-

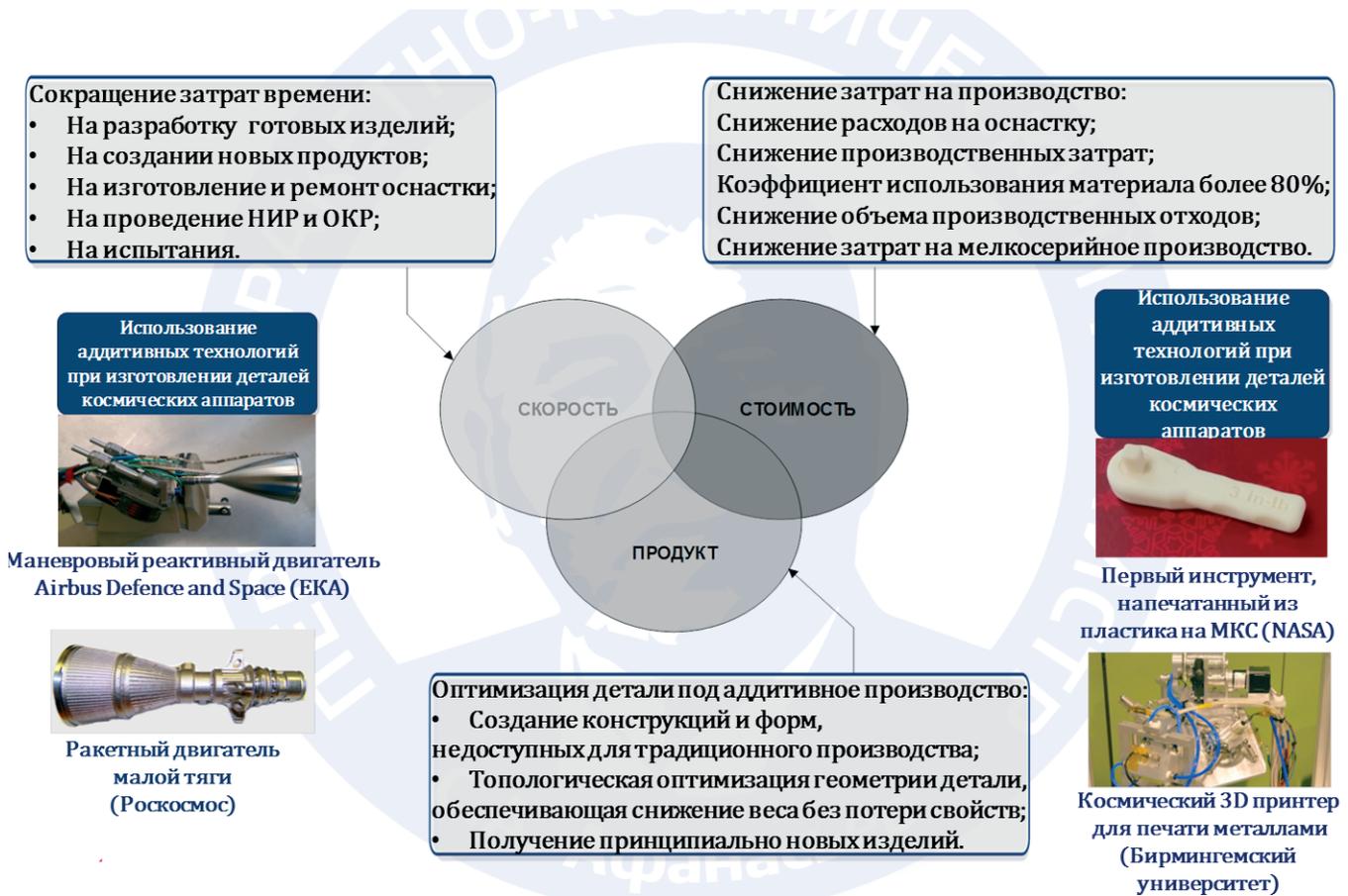


Рис. 2. Перспективы применения цифровых производств на основе АТ

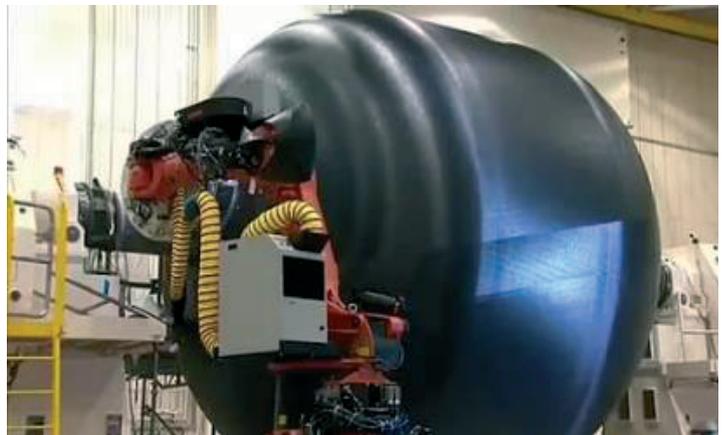
ционных материалов (КМ), получение неразъемных герметичных соединений разнородных материалов (металл + КМ), обеспечение чистоты внутренних полостей корпусов топливных баков, нанесение многофункциональных покрытий.

Эффективность технологий изготовления крупногабаритных оболочковых конструк-

ций РКТ из неметаллов подтверждена NASA (рис. 3). Бак для жидкого водорода из углепластика диаметром 2,4 м выдержал 20 циклов испытаний при температуре 20 К и давлении 135 атм. Испытывается криогенный топливный бак для жидкого кислорода из углепластика диаметром 12 м.



а)



б)

Рис. 3. Тенденции применения неметаллов в производстве РКТ

В АО «Композит» также проводится отработка опережающей технологии изготовления оболочковых конструкций (топливных баков) из углепластика на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК, рис. 4). *Применение технологии по сравнению с вариантом из алюминиевого сплава АМгб позволяет достичь следующих преимуществ: многоразовая разборная оснастка; отсутствие необходимости изготовления тонкостенных металлических лейнеров; возможность изготовления внутренней компоновки; возможность термосваривания, трещиностойкость материала; стойкость к криогенным температурам и компонентам топлива.*

Также на предприятиях, изготавливающих космические аппараты (КА), таких как АО «ИСС», АО «РКЦ «Прогресс», ПАО РКК «Энергия», АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и др., проводится отработка опережающих технологий изготовления ферменных конструкций АФУ КА из ПКМ с пластичным наполнителем; технологии нанесения покрытий для составных частей солнечных батарей; устройств исполнительной автоматики с прогнозными показателями ТУ,

сопоставимыми или превышающими мировой уровень.

В условиях цифровой трансформации и перехода на прогрессивные виды технологий наблюдается нехватка квалифицированных кадров, в особенности по основным производственным специальностям. Данный факт напрямую влияет на обеспечение технологической устойчивости производства, когда выполнение технологических операций значительно зависит от квалификации исполнителей (носителей «уникальных» компетенций). Промышленные компании по всему миру видят решение данной проблемы в применении AR/VR-технологий.

На сегодняшний день существуют примеры успешного внедрения программных решений с элементами AR на ведущих мировых аэрокосмических компаниях (Boeing и Lockheed Martin). Согласно отчету Boeing использование AR-технологии при укладке и соединении кабелей в бортовых системах летательных аппаратов позволило сократить время выполнения операции на 20% и снизить количество ошибок примерно в два раза (рис. 5).

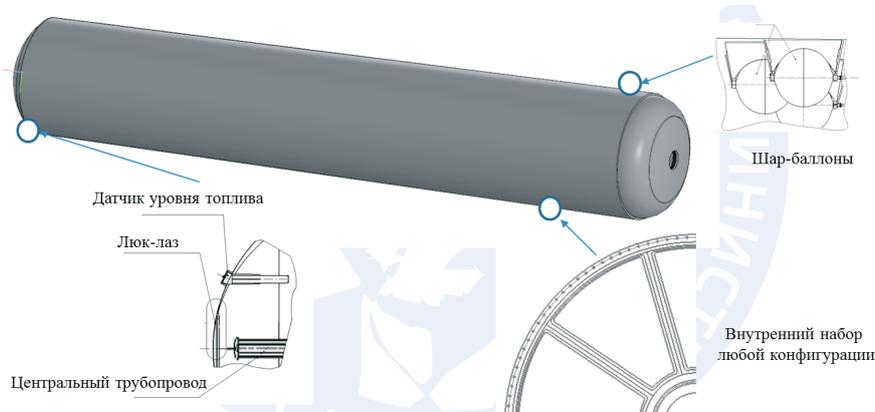


Рис. 4. Технологии изготовления топливных баков из углепластика

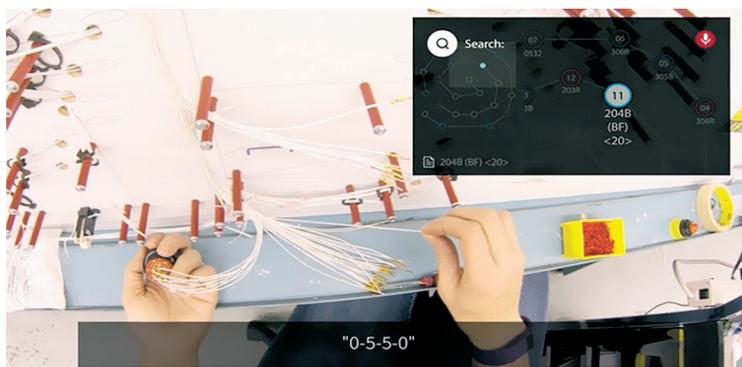


Рис. 5. AR-технологии при укладке и соединении кабелей

Инженеры аэрокосмической компании Lockheed Martin (главный подрядчик NASA, который занимается строительством космического корабля Orion) используют во вспомогательных целях AR-очки при сборке элементов капсулы кабины экипажа. При использовании AR-технологии специалистам требуется гораздо меньше времени для ознакомления и подготовки к выполнению новых задач, также уменьшилось время выполнения самих действий как простых, так и сложных (рис. 6).



Рис. 6. Монтаж систем космического корабля

- Обслуживание технологического оборудования по **фактическому состоянию**, определяемого по результатам вибродиагностики.



Рис. 7. Прогрессивное обслуживание промышленного оборудования



позволяющих перейти к обслуживанию оборудования по фактическому состоянию и нашедших применение на большинстве передовых зарубежных предприятий. Методы и средства для обслуживания станков по фактическому состоянию вполне применимы как для крупных, так средних и мелких предприятий. Авиационные, ракетно-космические и машиностроительные заводы США, Японии, Англии и Франции проводят обслуживание станков только по их фактическому состоянию. Метод основан на том, что, оценивая техническое состояние станков, определяются отдельные узлы и детали, которые имеют дефекты, и поэтому ремонт производится целенаправленно, устраняя конкретные дефекты. Такой метод обеспечивает стабильность работы производства, позволяет снизить затраты на 40–50% от общей стоимости планируемого ремонта и технического обслуживания (согласно графику планово-предупредительного ремонта), позволяет прогнозировать время безаварийной работы оборудования и заранее заказать необходимые комплектующие для проведения ремонта.

Стоит отметить, что стандарт, регламентирующий обслуживание оборудования по фактическому состоянию, введен NASA в действие на аэрокосмических предприятиях с 2000 года.

В 2021 году введен в действие Межгосударственный стандарт ГОСТ 34479-2018 [1]. Следует отметить, что в данном стандарте отмечен большой вклад ФГУП «НПО «Техномаш» в развитие этого направления.

Развитие промышленных технологий приводит к существенному росту объемов и сложности информации по разрабатываемым конструкторско-технологическим решениям (КТР), поэтому их эффективное применение невозможно без параллельного развития интеллектуальных технологий.

Основными направлениями развития интеллектуальных технологий (в соответствии с Таксономией технологий NASA) являются:

- цифровые технологии и прогрессивные вычислительные системы;
- технологии имитационного моделирования распределенных, неоднородных производственных систем на протяжении всего жизненного цикла изделия;
- технологии анализа больших данных;
- технологии проектирования, разработки, сопровождения изготовления, испытания;
- прогрессивные системы инженерных расчетов и математического моделирования сложных динамических процессов.

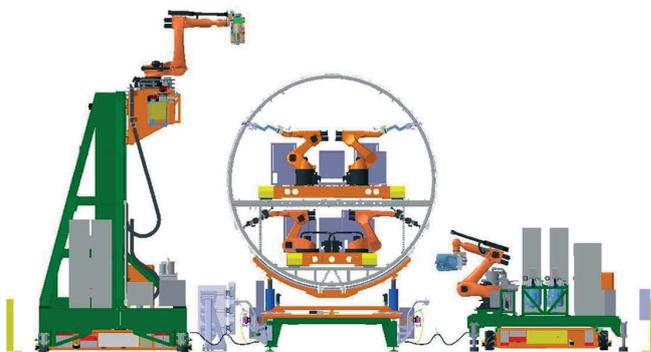
Объективное усложнение КТР в совокупности с ужесточением требований по срокам изготовления изделий РКТ требует широкого внедрения робототехники и сенсорики для повышения эффективности изготовления особо сложных изделий (рис. 8).

Основными направлениями развития робототехники и сенсорики (в соответствии с Таксономией технологий NASA) являются:

- технологии роботизированного обнаружения, ситуационного распознавания и оценки состояния;
- технологии движения, манипулирования, сцепления;



а)



б)

Рис. 8. Робототехнический комплекс сборки

- технологии интеграции робототехнических комплексов;
- технологии обеспечения автономности робототехнических комплексов.

Необходимо особо подчеркнуть, что вышеуказанные направления развития технологий реализуются на базе концепции полной цифровизации процессов (жизненного цикла изделий (ЖЦИ) РКТ. Цифровое проектирование и моделирование, управление изделием на всех этапах жизненного цикла, так называемый Smart Design, опирается на «умное производство» – Smart Manufacturing. Данная концепция реализуется управлением перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США DARPA.

Цифровой двойник (digital twin) – программный аналог физического устройства, моделирующий внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях внешних воздействий и позволяющий оптимизировать процессы разработки и производства. Важной особенностью цифрового двойника является то, что для задания на него входных воздействий используется информация с датчиков реального устройства, работающего параллельно.

Применение цифровых двойников в промышленности позволяет:

- реализовать дистанционный мониторинг и управление физическим объектом в реальном времени;
- анализировать различные производствен-

ные сценарии и производить оценку риска путем проигрывания нештатных ситуаций;

- создать условия для предиктивного обслуживания и планирования ремонтов оборудования за счет обработки и интеллектуального анализа в реальном времени больших объемов данных о работе промышленных активов;

- ускорять принятие управленческих решений за счет расширенной аналитики.

Boeing и Lockheed Martin требуют от компаний-поставщиков присылать свои виртуальные модели изделий (рис. 9). Компания РТС (США), занимающаяся разработкой промышленного программного обеспечения, ведет работы по созданию цифрового двойника физического продукта как для организации, так и для обслуживания и поддержки продукта.

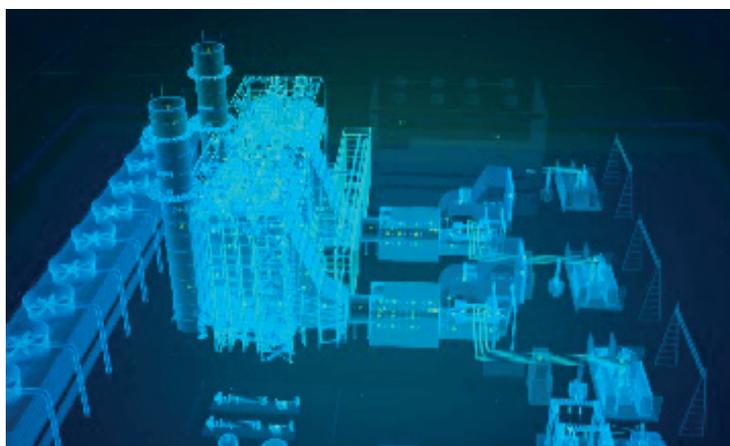
Также наблюдается тенденция к переходу западных конкурентов на технологии виртуальных испытаний, которые существенно сокращают сроки и затраты на подтверждение характеристик изделий.

При разработке программ виртуальных испытаний рассматривается полный комплекс систем, входящих в состав изделий РКТ, и их взаимовлияние, учитываются и анализируются сложные физические процессы в полной динамической постановке.

Так, например, информация о наиболее критичных зонах в конструкции, полученная в процессе моделирования, может быть использована для определения мест установки первичных



а)



б)

Рис. 9. Виртуальные модели объектов



преобразователей при проведении натурных испытаний и оптимизации их количества.

Использование методов математического моделирования применяется при анализе кинематики и динамики движения сложных механических систем (например, исследование и оптимизация параметров механизма раскрытия солнечных батарей), что позволяет существенно снизить объем и повысить эффективность зачетных натурных испытаний.

Методы математического моделирования могут применяться и при разработке стендового оборудования в обеспечение проведения испытаний изделий РКТ.

В отечественной РКП также требуют развития прогрессивные машиностроительные технологии и методы «обработки» по всем указанным направлениям (рис. 10), которые необходимо внедрять для производства средств выведения

(СВ) и КА (как серийных, так и разрабатываемых, перспективных).

Вместе с тем в отечественной РКП имеют место системные проблемы, связанные с отсутствием единой политики в области управления развитием конкурентоспособности производственной системы (ПС), в частности и технологическим развитием отрасли (рис. 11). Они порождают соответствующие тенденции снижения уровня управления ПС по конструкции, технологиям, производству, что в итоге приводит к снижению уровня качества, надежности и конкурентоспособности изделий РКТ и, как следствие, доли рынка.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» по поручению Госкорпорации «Роскосмос» разработано ТЗ на системный проект создания новой производственной системы Госкорпорации «Роскосмос» (НПС), представленной на рис. 12.



Рис. 10. Прогрессивные машиностроительные технологии

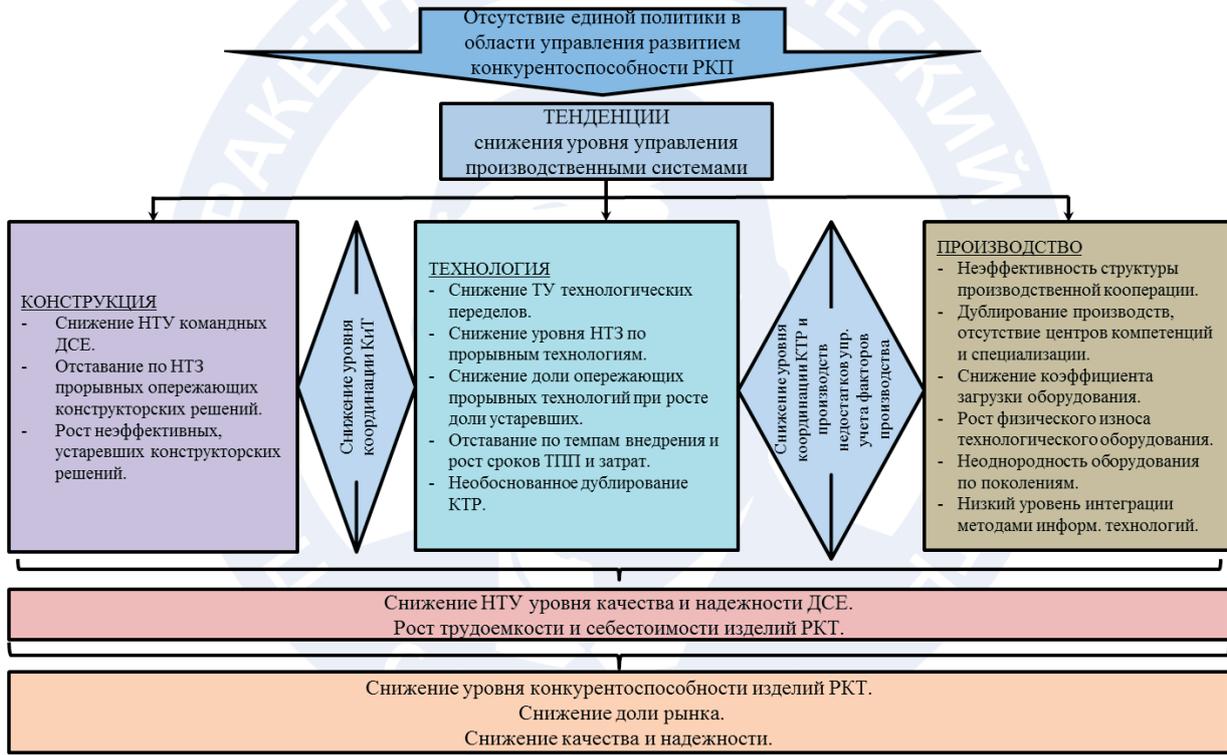


Рис. 11. Системные проблемы отечественной РКП

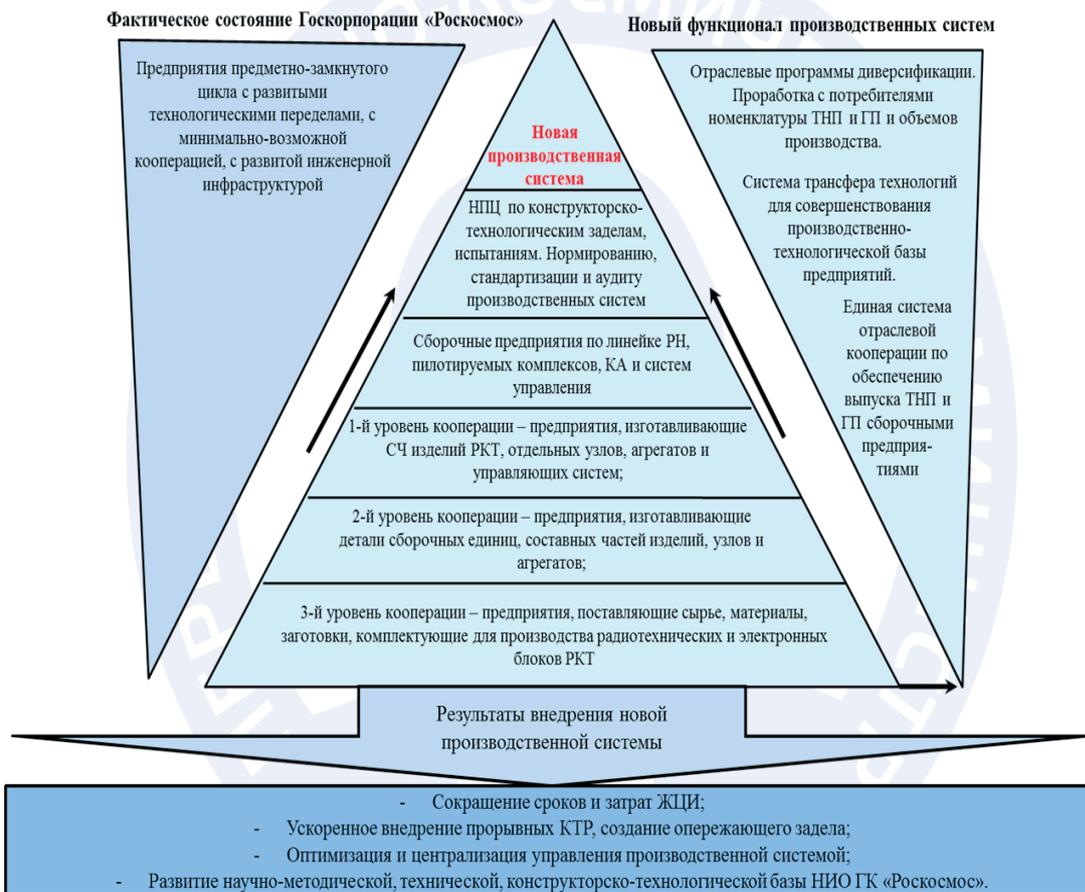


Рис. 12. Целевая структура НПЦ

Системный проект предусматривает создание иерархической системы НПС, состоящей из следующих уровней: НПЦ (научно-производственный центр) по конструкторско-технологическим заделам, испытаниям, нормированию, стандартизации и аудиту, сборочные предприятия по линейке РН, пилотируемых комплексов, КА и систем управления, изготавливающие предприятия трех уровней кооперации от составных частей, узлов и агрегатов до деталей изделий РКТ в целом.

На рис. 13 представлена этапность создания новой производственной системы. Разработка и апробация системного проекта создания НПС Госкорпорации «Роскосмос» планируется с 2022 до 2026 гг. Полный переход к НПС запланирован до 2030 года.

В целях обеспечения создания научно-производственного задела для достижения интегральных показателей ТУ технологий отрасли не ниже мировых ФГУП «НПО «Техномаш» реализует перспективные проекты, среди которых следует выделить:

– АТ для изготовления металлических и композиционных изделий в условиях космического пространства;

- внедрение аннотационных инструкций с использованием AR;
- цифровую платформу ТОиР;
- создание информационно-аналитической системы (ИАС) и мониторинг научно-технических прорывов;
- автоматизацию (роботизацию) технологических процессов;
- разработку программно-аппаратного комплекса для создания ЦД ПС;
- прогрессивные методы «обработки» (ротационная вытяжка, фрикционная сварка, гибка панелей, фрезерование вафельного фона, очистка баков);
- экспериментально-испытательную базу (виртуальное моделирование).

На рис. 14 показаны работы ФГУП «НПО «Техномаш», предметно ориентированные на создание цифровых производств на основе аддитивных технологий в условиях космического пространства для генерации орбитальной инфраструктуры нового поколения за пределами Земли.

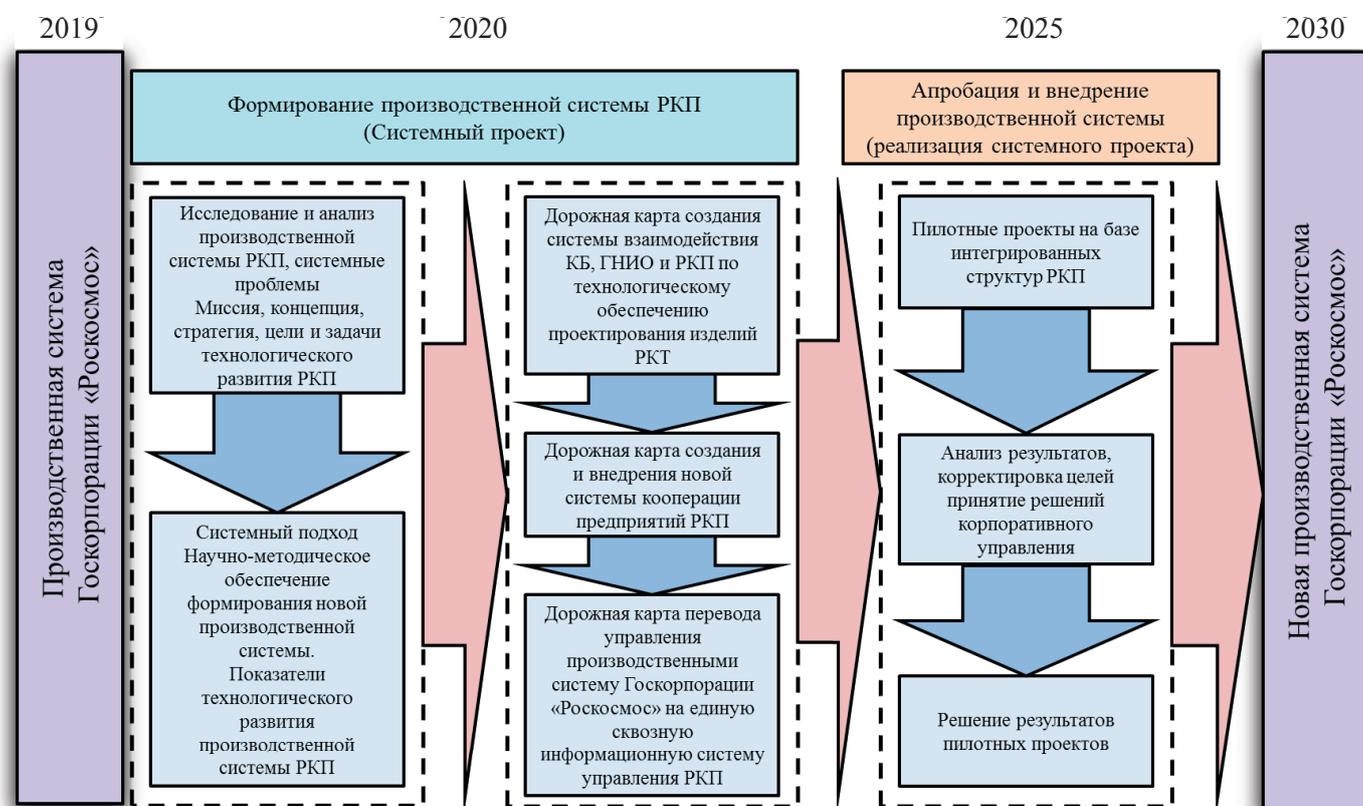


Рис. 13. Этапность создания НПС

- Создание цифровых производств в условиях космического пространства на основе аддитивных технологий позволит активизировать развитие космической техники и обеспечить лидирующее положение России в области РКТ за счет максимально эффективного освоения ресурсов космического пространства.



Рис. 14. АТ в условиях космического пространства

Данные программы развития орбитального производства позволят активизировать развитие космической техники и обеспечить лидирующее положение России в области РКТ за счет максимально эффективного освоения ресурсов космического пространства.

В рамках указанных программ разработан проект Концепции развития цифровых производств на основе аддитивных технологий в условиях космического пространства и определены этапы её реализации. Создан необходимый научно-технический задел для разработки технологии и изготовления макета пилотного участка цифрового производства на основе аддитивных технологий для изготовления металлических и композиционных изделий в условиях космического пространства.

В части AR-технологий ФГУП «НПО «Техномаш» следит за мировыми трендами. В настоящее время специалистами предприятия прорабатывается вопрос внедрения технологий дополненной реальности на предприятиях РКП и активно ведется разработка методических рекомендаций для формирования электронных ан-

нотационных инструкций с использованием AR в целях сокращения трудоемкости выполнения технологических операций, проведения дистанционного обучения и обслуживания технологического оборудования. К сожалению, следует отметить отсутствие конкурентного отечественного аппаратного решения (инструмента визуализации инструкций) в области AR. Необходимо вести работы в данном направлении для обеспечения импортнезависимости предприятий РКП, планирующих внедрение технологий дополненной реальности.

ФГУП «НПО «Техномаш» реализует совместный с ПАО «МТС» проект по созданию и внедрению цифровой платформы ТООР оборудования, которая предназначена:

- для быстрого внедрения систем диагностики и мониторинга состояния производственного оборудования (станков универсальных и с ЧПУ);
- для оценки технического состояния станочного парка и выдачи рекомендации по дальнейшему использованию каждой единицы оборудования в зависимости от значения коэффициента технического состояния;



– для глубокой безразборной диагностики промышленного оборудования (по итогам оценки технического состояния).

Пилотный проект по внедрению данной платформы планируется в ближайшее время на производственной площадке АО «НПО Лавочкина».

Создание ИАС технологий РКП проводится в целях повышения эффективности производства перспективных изделий (рис. 15). Задача решается за счет систематизации и управления на корпоративном уровне всеми работами, которые проводятся сейчас в области промышленных технологий, и их внедрением в производство. На рис. 15 представлена общая концептуальная схема информационно-аналитической системы, из которой видны:

- методология и требования к формированию и обобщению информации;
- структура данных, на основе которой строится аналитика;
- программно-математические модели для обработки информации.

Разобщенность проводимых работ не позволяет в полной мере использовать накапливаемые в отрасли знания. Для обобщения и систематизации проводимых работ, а также создания единой системы мониторинга проводимых исследований и их внедрения планируется создание ИАС, которая будет включать в себя сбор, накопление, систематизацию и обобщение информации о промышленных технологиях.

На основе этой информации ИАС должна обеспечить формирование сводных, структурных и динамических показателей для анализа конфигурации перечня промышленных технологий, выявления производственно-технологических проблем на ранних стадиях жизненного цикла изделий КА и СВ, изменений состояния НТЗ промышленных технологий.

Сформированная информация позволит сделать оценку и прогнозирование требований к показателям НТЗ технологического направления по созданию КА и СВ, уровней технологической и производственной готовности промышленных технологий к обеспечению пара-

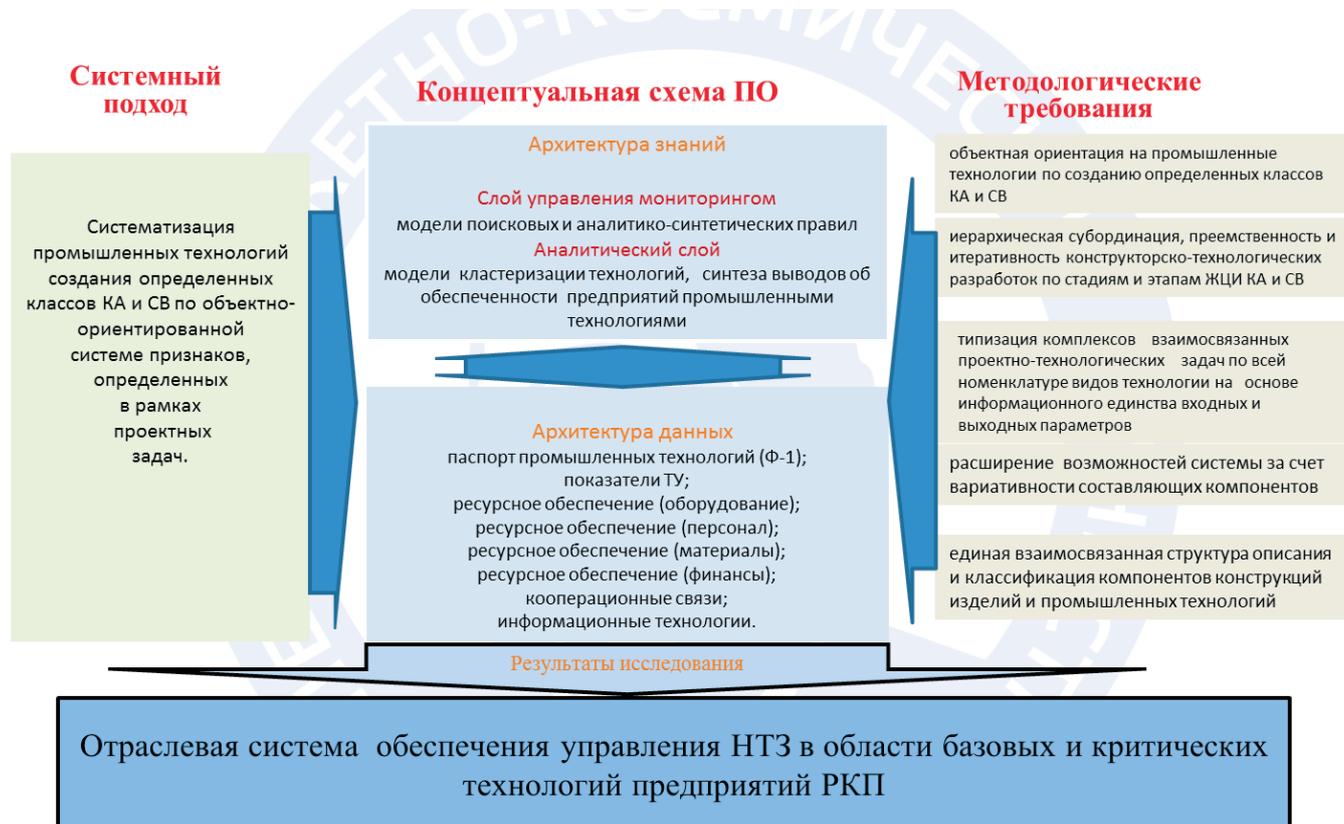


Рис. 15. Создание ИАС технологий РКП

метров качества и надежности перспективных изделий РКТ.

По направлению **автоматизации (роботизации) технологических процессов** ФГУП «НПО «Техномаш» предложена технология финишной очистки криогенного бака РН (рис. 16). Основным рабочим инструментом является промышленный робот с «удлиненной рукой». Такой инструмент выбран из-за специфики предполагаемого объекта очистки.

В рамках направления по созданию цифровых двойников производственных систем у ФГУП

«НПО «Техномаш» существует научный задел. В 2020 году по заказу ООО «Итеранет» проведены исследования, и сформированы рекомендации по практической разработке информационно-аналитической платформы поддержки принятия управленческих решений машиностроительного предприятия с требованиями по устойчивой интеграции со смежными информационно-технологическими системами, интеграция со смежными системами. ФГУП «НПО «Техномаш» разработана «Платформа поддержки принятия управленческих решений» (рис. 17).



Рис. 16. Финишная очистка криогенного бака РН

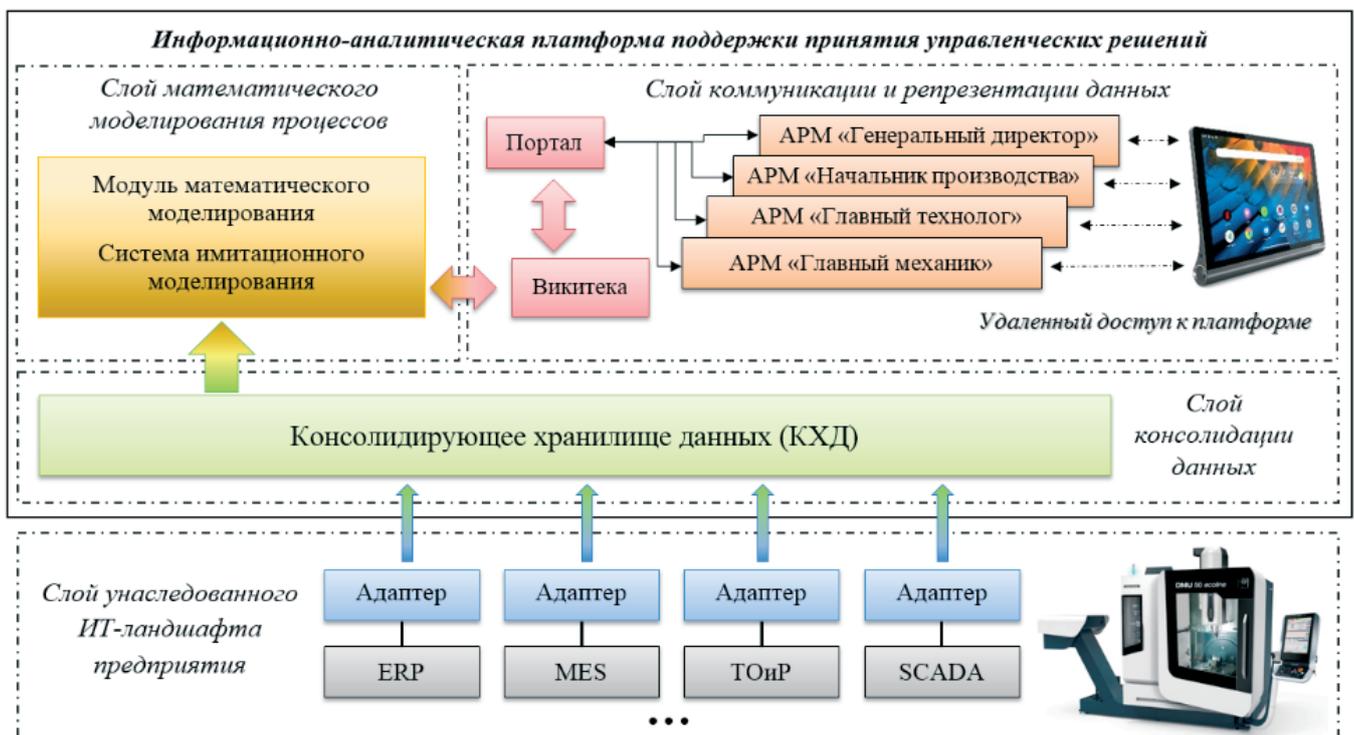


Рис. 17. Платформа поддержки принятия управленческих решений



В настоящее время ФГУП «НПО «Техномаш» планируется привлечь (в рамках 5 направления ОКР «Прогресс-2025» (как соисполнитель ОКБ «Спектр») к созданию программно-методического комплекса для построения цифровых двойников производственных систем машиностроительных предприятий для решения задач системного анализа.

Ведутся работы по организации Цифрового производственного участка (цифровая лаборатория) на территории предприятия для отработки моделей цифровых двойников. Структура и решаемые задачи данного участка представлены на рис. 18.

Совместно с АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» и ПО «Полет» ведутся работы по отработке и внедрению перспективных промышленных технологий (рис. 19). Внедрение вышеуказанных

перспективных технологий будет осуществляться в первую очередь в рамках модернизации РН «Ангара-5М» для достижения требуемых тактико-технических характеристик (ТТХ). При этом полученные практические результаты (как полноценный научно-технологический задел) будут тиражированы на перспективные разработки.

В части работ по применению математического моделирования по испытаниям можно отметить опыт ФКП «НИЦ РКП» (рис. 20). Для выбора оптимальной конструкции и настройки режимов работы создаваемого стенда В2В выполнено математическое моделирование процессов в газоотводном тракте, и проведены огневые испытания объекта для экспериментальной проверки предлагаемых решений, подтвердившие адекватность разработанной математической модели.

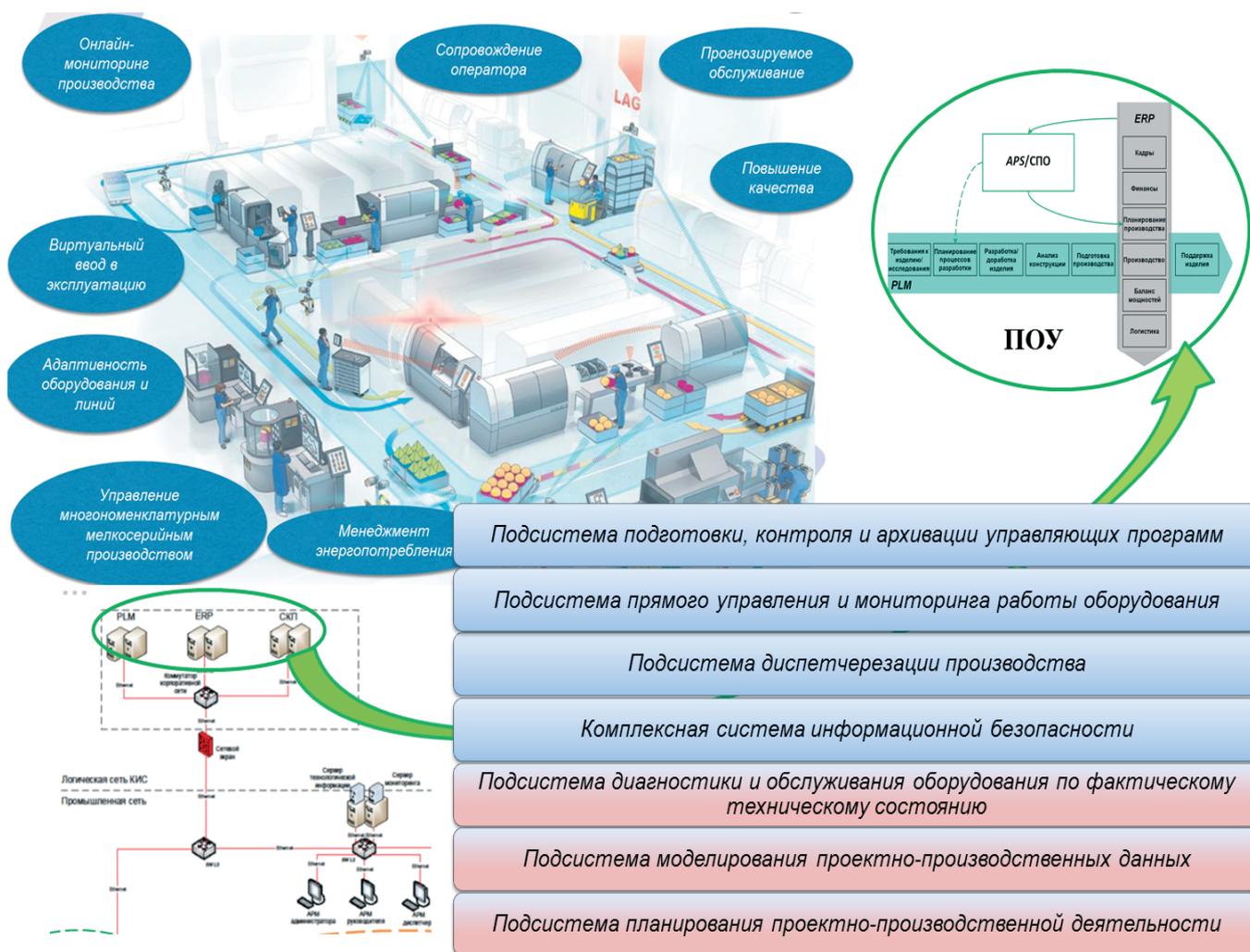


Рис. 18. Схема цифровой лаборатории

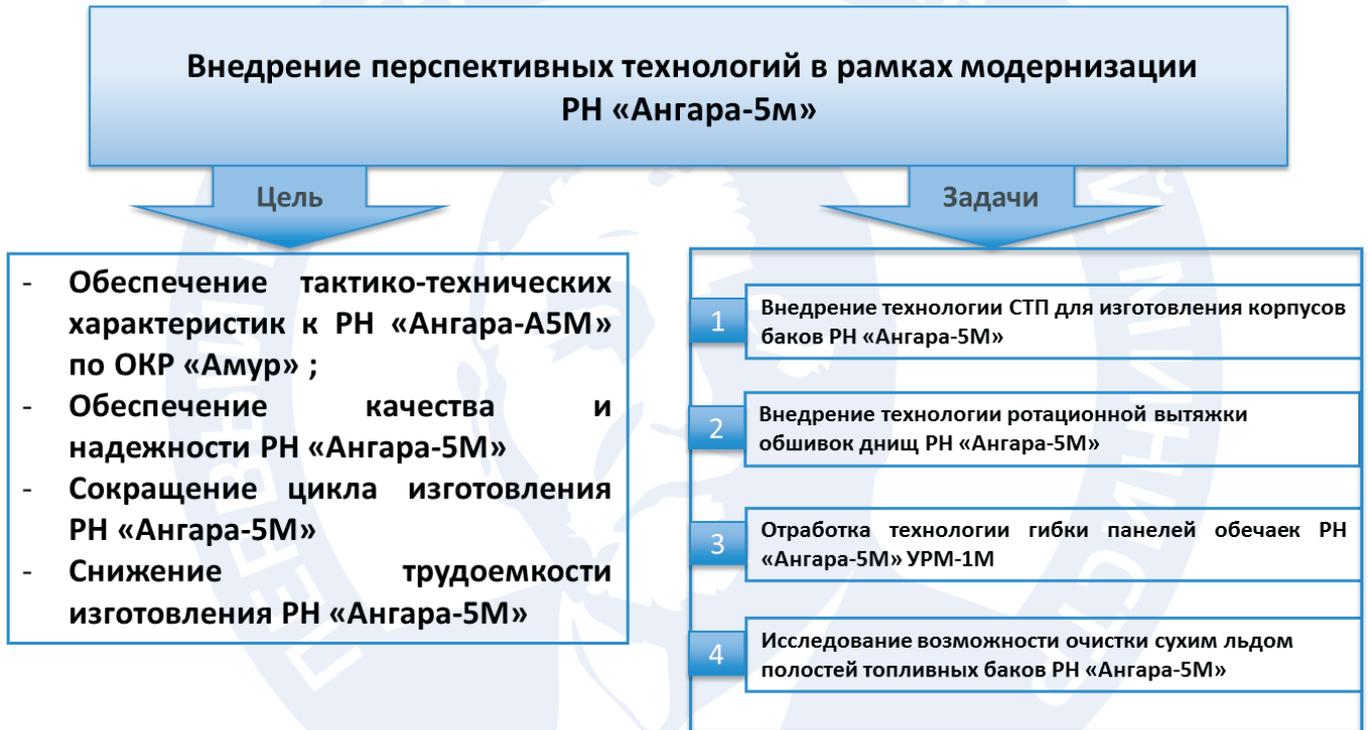


Рис. 19. План отработки и внедрения перспективных промышленных технологий

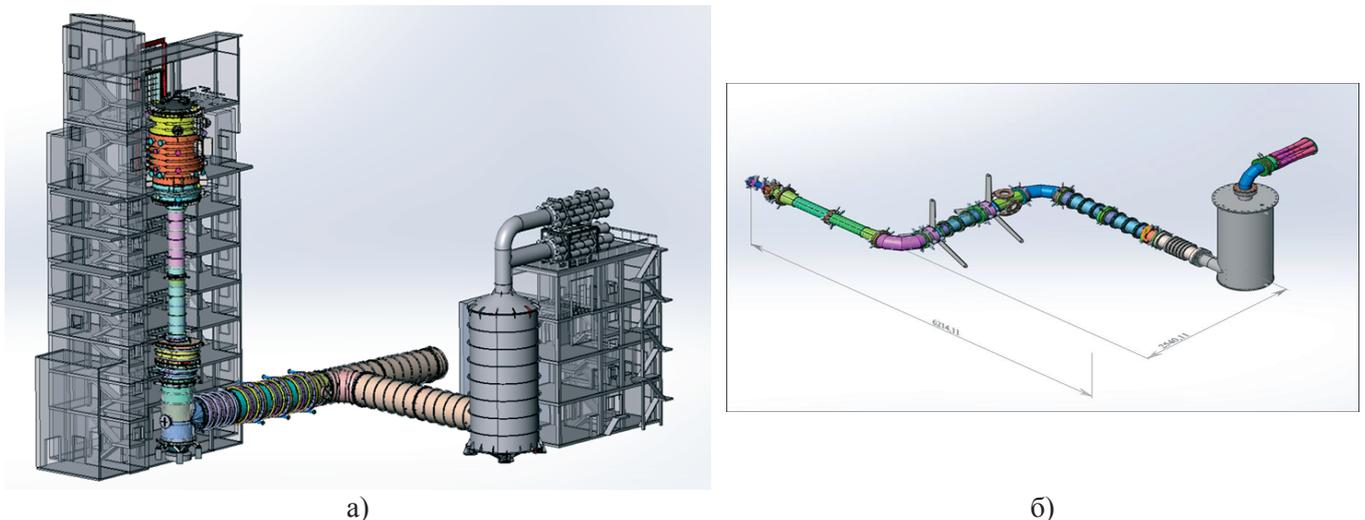


Рис. 20. Математическое моделирование испытаний: а) модель станда; б) модель газоотводного тракта

Обобщая вышеизложенное, необходимо отметить, что технологии производства РКТ на предприятиях РКП в целом не отстают от мировых тенденций развития, а по ряду организационно-технологических решений существенно их превосходят (аддитивные технологии изготовления оболочковых конструкций СВ и КА – топливные баки, трубопроводы, агрегаты пневмогидросистем; ферменные конструкции АФУ КА из ПКМ с пластичным наполнителем; техноло-

гии нанесения покрытий для составных частей солнечных батарей; устройства исполнительной автоматики и т.д.). При этом перспективные решения ФГУП «НПО «Техномаш» обеспечат переход к построению новой производственной системы Госкорпорации «Роскосмос» и созданию опережающего научно-технического задела в области промышленных технологий предприятий РКП на основе современных цифровых решений.





### Библиографический список

1. ГОСТ 34479-2018. Станки металлорежущие. Условия испытаний. Нормативно-техническое обеспечение совершенствования методов диагностирования и технологий ремонтно-восстановительных работ станочного парка. – М.: Стандартинформ, 2020 – 50 с.

**Власов Юрий Вениаминович** – канд. техн. наук  
Тел.: +7 (499) 689-50-66. E-mail: info@tmnpo.ru  
Vlasov Iurii Veniaminovich – Ph.D. in Engineering Sciences  
Tel.: +7 (499) 689-50-66. E-mail: info@tmnpo.ru

**Кузин Анатолий Иванович** – докт. техн. наук, и.о. генерального директора ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.  
Тел.: +7 (499) 689-50-66. E-mail: info@tmnpo.ru  
Kuzin Anatolii Ivanovich – Doktor Nauk in Engineering, Acting CEO of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: +7 (499) 689-50-66. E-mail: info@tmnpo.ru

УДК 621.454

*Галеев А.Г., Лисейкин В.А., Махлай А.А., Сизяков Н.П., Юрьев И.А.  
Galeev A.G., Liseikin V.A., Makhlai A.A., Siziakov N.P., Iurev I.A.*

## Современное состояние и пути развития экспериментально-испытательной базы в обеспечение отработки ЖРД, ДУ ЖРД и проведения ТВИ КА

### The current state and development ways of the experimental and test capabilities to ensure the improvement of LPRE, LPRE propulsion systems and carrying out of space vehicles thermal vacuum tests

Рассмотрена деятельность основных испытательных центров ракетно-космической промышленности Российской Федерации. Обозначены проблемные вопросы и пути их решения. Предложены направления технологического развития экспериментально-исследовательской базы ФКП «НИЦ РКП».

The efforts of the main test centers of the Russian Federation aerospace industry are considered. Problem areas and ways to solve them are outlined. The technology development areas of the experimental and research base of FKP «NIC RKP» are proposed.

**Ключевые слова:** экспериментально-испытательная база, стендовые испытания, жидкостный ракетный двигатель, двигательная установка, тепловакуумные испытания, космический аппарат, инвестиционный проект

**Keywords:** experimental and test capability, stand test, liquid-propellant rocket engine, propulsion system, thermal vacuum tests, space vehicle, investment project

Экспериментально-испытательная база ракетно-космической промышленности (РКП) базируется на испытательной базе головных НИИ и НИО отрасли, испытательной базе головных конструкторских бюро – разработчиков ракетносителей (РН) и космических аппаратов (КА),

испытательной базе конструкторских бюро – разработчиков систем РН и КА, заводов-изготовителей серийной продукции.

Современная экспериментально-испытательная база РКП обеспечила отработку жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), двигатель-



ных установок (ДУ) и проведение тепловакуумных испытаний КА и их тепловых макетов, что позволило успешно реализовать все космические программы предыдущего периода и является достаточно эффективным и действенным инструментом достижения необходимого уровня надежности разрабатываемой ракетно-космической техники (РКТ). На стендах экспериментально-испытательной базы РКП в свое время прошли отработку практически все изделия, создаваемые в отрасли [1–3].

В настоящее время экспериментальная база РКП, включающая свыше 1500 испытательных стендов и установок, требует совершенствования, модернизации и развития. Основное количество стендов и установок находится на 44 предприятиях отрасли.

Оптимальное развитие экспериментально-исследовательского и опытно-конструкторского потенциала РКП требует концентрации экспериментального оборудования и средств для проведения испытаний систем и составных частей комплексов на двух центральных площадках – АО «ЦНИИмаш» и ФКП «НИЦ РКП», и двух региональных – АО «РКЦ Макеева» (г. Миасс Челябинской области) и АО «ИСС» (г. Железногорск Красноярского края).

При этом:

в АО «ЦНИИмаш» сосредоточены стенды и установки для научных исследований и комплексных испытаний РН, разгонных блоков (РБ) и КА и их составных частей по направлениям аэрогазодинамики, теплообмена, газодинамики старта, динамики и прочности конструкций, а также стенды для контрольной проверки полетных заданий средств выведения КА;

в ФКП «НИЦ РКП», крупнейшем в России центре наземной отработки и оценки качества РКТ, сосредоточены стенды для экспериментальной отработки [4–5]:

- жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок ступеней РН, РБ и КА;
- наземного технологического оборудования стартовых и технических комплексов;
- проведения тепловакуумных испытаний изделий РКТ и их составных частей;
- газодинамики старта на крупномасштабных моделях;

в АО «ГРЦ Макеева» сосредоточены стенды для проведения гидрогазодинамических испытаний, а также испытаний в условиях вакуума и невесомости, физико-математического моделирования старта и полёта, прочностных, вибрационных, ударных, акустических, климатических испытаний, для отработки на специализированность и испытаний антенно-фидерных устройств разрабатываемых, модернизируемых и серийных изделий, создаваемых по тематике предприятия;

в АО «ИСС» сосредоточены стенды для отработки автоматических КА и их составных частей на внешние воздействия (прочностные испытания, термовакуумные воздействия, имитация невесомости при испытаниях трансформируемых механических систем и другие), в том числе стенды для отработки крупногабаритных трансформируемых конструкций (рефлекторов антенн, солнечных батарей и других типов механических систем), прецизионных электромеханических устройств автоматических КА, испытательных средств для определения радиотехнических характеристик антенных систем как автономно, так и в составе автоматических КА.

Испытательная база ФКП «НИЦ РКП» представлена 63 испытательными стендами (в составе 102 рабочих мест), из них – 39 стендов находятся в режиме функционирования; 12 – на реконструкции; 10 – не загружены; 2 – на среднесрочной остановке.

На стендах ФКП «НИЦ РКП» проведена наземная отработка практически всех созданных в России ЖРД, ДУ, КА, агрегатов и систем.

Большинство испытательных стендов ФКП «НИЦ РКП» созданы в 50–60-е годы прошлого века в период бурного развития РКТ, когда номенклатура разрабатываемых изделий значительно превышала современный уровень и ежегодно проводилось более двух тысяч испытаний.

Сегодня, в связи с уменьшением номенклатуры вновь разрабатываемой РКТ, такого количества стендов не требуется, и, следовательно, существует настоятельная необходимость определить востребованность стендовой базы.

Средняя загрузка стендовой базы ФКП «НИЦ РКП» в 2017–2020 годах составила около 50%. Более 40% стендов не загружены или загрузка их составляет менее 10%.





Особенностью испытательной базы ФКП «НИЦ РКП» является её применение на завершающих этапах опытно-конструкторских работ (ОКР), в связи с чем стенды работают в режиме с продолжительными периодами ожиданий применения по целевому назначению, что, в свою очередь требует проведения комплекса мероприятий по поддержанию как технических характеристик стендового оборудования на требуемом уровне, так и профессионального уровня испытателей.

За рубежом для решения данной проблемы приняты нормативы минимального финансового обеспечения ЭИБ за счёт государственных средств для их поддержания в рабочем состоянии (ремонтные, восстановительные работы и др.) из расчёта 1,5–2,5% от «восстановительной стоимости» (replacement cost) ЭИБ. В качестве «восстановительной стоимости» рассматривается цена, в которую обошлась бы замена имеющихся испытательных активов на новые. При этом активы оцениваются не по их балансовой стоимости с учётом амортизации, а по ценам создания аналогичного оборудования на текущий момент, т.е. в ценах текущего года. Данная методика обеспечивает ежегодное увеличение финансирования на содержание ЭИБ за счёт индексации восстановительной стоимости специализированных испытательных средств.

Таким образом, предполагается целесообразным распространить такой опыт государственной финансовой поддержки содержания стендов и установок, необходимых для наземной экспериментальной отработки перспективных изделий РКТ, но недозагруженных в настоящее время испытаниями и поддержания квалификации испытателей на современном уровне.

В соответствии с Федеральной космической программой России на 2016–2025 годы (ФКП), Стратегией развития Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на период до 2025 г. и перспективу до 2030 г. предусмотрено создание современных космических комплексов и изделий с новыми тактико-техническими характеристиками (РН «Ангара-А5», РН «Ангара-А5В», РН «Союз-5», РН «Союз-6», РН СТК, КА негерметичного исполнения с увеличенными сроками эксплуатации).

В процессе создания перечисленных изделий в соответствии с действующей методологией обязательным этапом является их экспериментальная отработка. При этом ЭИБ должна обеспечивать создание условий испытаний, максимально приближенных к реальным условиям работы ЖРД и ДУ для создаваемых средств выведения и КА.

В обеспечение наземной отработки перспективных изделий РКТ ФКП «НИЦ РКП» в рамках государственных программ и в порядке, предусмотренном Правилами осуществления капитальных вложений в объекты государственной собственности Российской Федерации за счет средств федерального бюджета, проводит мероприятия по реконструкции и техническому перевооружению объектов на предприятии:

– в рамках ОКР «Феникс» ФКП «НИЦ РКП» приступило к подготовке экспериментально-испытательной базы к проведению холодных стендовых и огневых стендовых испытаний блоков первой и второй ступеней РН «Союз-5» с готовностью принятия объекта испытаний 15.05.2022;

– в рамках подпрограммы «Создание космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса на 2020–2030 годы» в ФКП «НИЦ РКП» реализуется ряд инвестиционных проектов и опытно-конструкторских работ по созданию стендовой базы для отработки ЖРД и ДУ с имитацией высотных условий штатной эксплуатации. Необходимость стенда определена требованием к отработке двигателя РД-0146Д и РБ тяжелого класса (КВТК) для РН «Ангара – А5». Срок реализации: 2024–2028 годы.

Кроме того, в настоящее время по поручению Госкорпорации «Роскосмос» ФКП «НИЦ РКП» готовит обосновывающие материалы по инвестиционному проекту «Реконструкция, восстановление и техническое перевооружение комплекса КИ-2 с камерой вертикальных испытаний КВИ-8500 для проведения тепловвакуумных испытаний крупногабаритных космических аппаратов».

Реализация инвестиционного проекта предполагается в рамках Государственной программы Российской Федерации «Космическая деятельность России», подпрограммы «Развитие космической ядерной энергетики России» (ОКР «Нуклон», ФГУП «КБ «Арсенал»).



Успешная реализация всех вышеперечисленных проектов позволит ФКП «НИЦ РКП» на период до 2030 года и более долгосрочную перспективу обеспечить своевременную наземную экспериментальную отработку серийных и перспективных изделий РКТ, их составных частей и агрегатов в полном объеме и с требуемым качеством, в том числе в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.

Общим проблемным вопросом реализации отдельных инвестпроектов является необходимость корректировки их сроков из-за неритмичности или отсутствия финансирования.

Еще одним важным направлением развития ЭИБ является создание современных информационно-управляющих систем (ИУС) и систем аварийной защиты (САЗ).

С 1995 года ФКП «НИЦ РКП» создаёт системы управления и системы аварийной защиты на базе специализированных модулей и блоков ввода/вывода и семейства сетевых промышленных контроллеров СИКОН (совместная разработка ФКП «НИЦ РКП» и ООО «Компекс-Т», г. Москва). Особенностью систем управления и аварийной защиты разработки ФКП «НИЦ РКП» является высокий технический уровень, надёжность (дублированное и троированное исполнение), быстродействие (время реакции на аварийную ситуацию не более 40 мс) и функциональность, которая выражается в возможности контролировать десятки аварийных параметров с одновременной реализацией задач управления изделием и стендом по сотням параметров [4–5].

Одним из перспективных путей совершенствования стендовых информационно-управляющих систем и систем аварийной защиты является разработка интеллектуальных периферийных модулей, обеспечивающих связь с объектом испытания. Наличие в составе таких модулей собственных процессоров позволяет решать задачи приема сигналов от датчиков и формирования управляющих воздействий на исполнительные органы объекта управления на нижнем уровне (без участия центрального контроллера), обеспечивая повышение надежности и качества управления и регулирования параметров ЖРД при стендовых испытаниях.

Еще одна актуальная проблема – управление качеством изделий РКТ, связанная с увеличением сложности и наукоёмкости изделий РКТ.

Повышение требований к качеству диктуется необходимостью обеспечения конкурентоспособности продукции головных предприятий-изготовителей ракетно-космической отрасли России на мировом рынке космических услуг [6, 7].

Возможность достижения оптимального соотношения между затратами и получаемым качеством изделий РКТ приводит к необходимости создания новых концептуальных подходов формирования данных о материальных и информационных потоках производства в интегрированной информационной среде исследований, проектирования, испытаний и эксплуатации.

В целях реализации такого подхода ФКП «НИЦ РКП» разработан и подан для включения в перечень базовых и критических технологий на период до 2033 года проект паспорта базовой критической технологии «Технология автоматизированного контроля качества ЖРД и ДУ ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов», разработка которой предполагается в рамках ОКР «Центр АСКК».

Новизна технологии заключается в создании отраслевой автоматизированной системы организационных, методических и технических средств, обеспечивающих оперативное получение количественных и качественных характеристик изделий на всех этапах их жизненного цикла.

Реализация предложения ФКП «НИЦ РКП» позволит существенно повысить технико-экономическую эффективность разработки и эксплуатации ракетно-космических систем, снизить аварийность при проведении испытаний за счет внедрения экспертных систем, обеспечивающих прогнозную оценку хода технологических процессов.

В заключение хочется отметить, что, несмотря на вышеперечисленные проблемы, экспериментально-испытательная база и персонал ФКП «НИЦ РКП» обеспечивают качественную подготовку и проведение испытаний изделий РКТ для подтверждения правильности принятых и



реализованных в изделиях конструктивных решений, и подтверждения тактико-технических характеристик изделий, заданных в техническом задании.

### Библиографический список

1. Галеев А.Г., Денисов К.П., Ищенко В.И., Лисейкин В.А., Сайдов Г.Г., Черкашин А.Ю. Испытательные комплексы и экспериментальная отработка жидкостных ракетных двигателей. – М.: Машиностроение. / Машиностроение – Полет, 2012. – 368 с.
2. Лисейкин В.А., Тожокин И.А., Разработка нового поколения систем управления и аварийной защиты для стендовых испытаний ЖРД и ДУ // Новые технологии. Том 2. – Материалы XIV Всероссийской конференции, посвященной 70-летию Государственного ракетного центра им. академика В.П. Макеева. – 2017. – С. 129–131.
3. Лисейкин В.А., Моисеев Н.Ф., Сайдов Г.Г., Фролов О.П. / под. ред. д-ра техн. наук Чванова В.К. Основы теории испытаний. Экспериментальная отработка ракетно-космической техники / – М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет/ Виарт Плюс, 2015. – 256 с.: ил.
4. Лисейкин В.А., Милютин В.В., Тожокин И.А. Создание информационно-управляющих систем и систем аварийной защиты для отработки ЖРД // Общероссийский научно-технический журнал Полёт. – 2009. – Специальный выпуск.
5. Лисейкин В.А. К вопросам надёжности стендовых систем управления и аварийной защиты при испытаниях ЖРД и ДУ // Общероссийский научно-технический журнал Полёт. – 2012. – № 12.
6. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Стандартинформ, 2015. – 54 с.
7. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с.

**Галеев Айвенго Гадыевич** – д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник ФКП «НИЦ РКП». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru  
Galeev Aivengo Gadyevich – Doktor Nauk in Engineering, Prof., Principal Research Officer of FKP «NIC RKP». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru

**Лисейкин Вадим Александрович** – канд. техн. наук, начальник отдела ФКП «НИЦ РКП». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru  
Liseikin Vadim Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Department Head of FKP «NIC RKP». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru

**Махлай Андрей Анатольевич** – заместитель генерального директора по качеству ФКП «НИЦ РКП». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru  
Makhlai Andrei Anatolevich – Deputy CEO for Quality of FKP «NIC RKP». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru

**Сизяков Николай Петрович** – д-р техн. наук, генеральный директор ФКП «НИЦ РКП». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru  
Siziakov Nikolai Petrovich – Doktor Nauk in Engineering, CEO of FKP «NIC RKP». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru

**Юрьев Игорь Анатольевич** – канд. техн. наук, заместитель генерального директора по науке ФКП «НИЦ РКП». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru  
Iurev Igor Anatolevich – Ph.D. in Engineering Sciences, Deputy CEO for Science of FKP «NIC RKP». Тел.: 8 (496) 546-33-21 E-mail: mail@nic-rkp.ru

УДК 629.78

*Дорохин Ю.Н., Круглов И.А., Круглова Ю.В.  
Dorokhin Iu.N., Kruglov I.A., Kruglova Iu.V.*

## Обеспечение качества изделий ракетно-космической техники. Проблемные вопросы организации входного контроля и предложения по их решению

### Quality assurance for the aerospace equipment products. Problem areas in the organization of input control and suggestions for their solution

Ракетно-космическая техника является сложнейшим техническим изделием, изготавливаемым с применением десятков тысяч различных материалов и покупных комплектующих изделий. В современных реалиях вопросы проведения входного контроля оказывают существенное влияние в обеспечение качества и надежности всего изделия.

Aerospace equipment is a highly complex technical product, manufactured using thousands of different materials and purchased components. In nowadays, the issues of incoming inspection have a significant impact on the quality and reliability of the entire product.

**Ключевые слова:** обеспечение качества, входной контроль, реестр поставщиков, испытательный центр

**Keywords:** quality assurance, incoming inspection, vendor register, testing center

Ракетно-космическая техника (РКТ) представляет собой сложные технические устройства, состоящие из десятков тысяч деталей, узлов и механизмов, изготавливаемых с применением огромной номенклатуры материалов, полуфабрикатов, покупных комплектующих изделий (ПКИ) и целых систем. Со времен распада Советского Союза отлаженные десятилетиями производственные цепочки постепенно ослабевали, поскольку в условиях рыночной экономики многие организации вынужденно переориентировались на производство гражданской продукции и продукции двойного назначения. В том числе на это оказало влияние существенное снижение финансирования космической отрасли и разработок в 90-е годы прошлого столетия и в начале 2000-х, наблюдалось постепенное снижение количества запусков, и, как следствие, снижение объемов закупок материалов и покупных комплектующих изделий практически всеми без исключения организациями ракетно-космической промышленности (РКП).

Вопрос обеспечения качества и надежности изделий РКТ находится в прямой зависимости

от качества закупаемых материалов, полуфабрикатов и ПКИ, ведь порой отказ даже одной составляющей может явиться причиной нештатной работы, а в худшем случае – привести к аварии при осуществлении запуска.

В последние годы в организациях Госкорпорации «Роскосмос» наблюдается постоянное увеличение внимания и ужесточение требований к обеспечению качества. Внедряются новые подходы, такие как фото- и видеодокументирование на всех этапах производства изделий, автоматизированный неразрушающий контроль качества сварных швов и т.п. [1].

Закупка материалов, полуфабрикатов и ПКИ, а также проведение входного контроля является первым звеном в цепи обеспечения качества и надежности конечной продукции, а постоянная работа с поставщиками позволяет влиять не только на качество закупок, но и на снижение издержек и потерь [2].

В связи с этим по указанию Госкорпорации «Роскосмос» ФГУП «НПО «Техномаш» осуществлен сбор и анализ информации в отношении:





– реализуемых организациями РКП мер по обеспечению качества материалов, полуфабрикатов и ПКИ при их производстве и привлечению к выполнению работ «добросовестных» поставщиков;

– предложений по отраслевым мероприятиям, необходимым для совершенствования процедур закупки материалов и ПКИ, а также совершенствования работы с «добросовестными» поставщиками при их привлечении к выполнению контрактных обязательств.

Анализ проведен на основании сведений, полученных от 30 организаций РКП. Основными мерами по обеспечению требуемого качества материалов, полуфабрикатов и ПКИ указаны:

– ведение реестра «добросовестных» и «проблемных» поставщиков в организации;

– ранжирование поставщиков с регулярной актуализацией (с анализом по показателям):

стабильное качество и надежность поставки; соблюдение сроков поставки;

точность комплектации, гибкость в объемах заказа;

возможность резервирования на складе поставщика;

гарантия проверки качества продукции поставщиком;

дополнительные соглашения на особых условиях о качестве (в основном электронная компонентная база (ЭКБ));

долгосрочное сотрудничество (отсутствие рекламаций, оперативное устранение претензий, гибкость в вопросах поставок);

– ранжирование материалов по критичности;

– контроль качества при входном контроле и/или перед вовлечением в производство (соответствие нормативной документации, конструкторской документации, химический анализ и т.д.);

– проведение дополнительных испытаний в специализированных испытательных центрах (ИТЦ);

– аудит поставщиков и внесение соответствующих требований в договоры поставки;

– подтверждение подлинности сертификатов качества у производителей;

– закупка установочной/ пробной партии;

– наличие сертификатов системы менеджмента качества у поставщика;

– закупка материалов и ПКИ в соответствии с ограничительными перечнями.

При этом организациями РКП приведены системные риски, с которыми организации сталкиваются при осуществлении закупочной деятельности металлических материалов и полуфабрикатов предприятия:

– закупка металлических материалов и полуфабрикатов организациями РКП характеризуется небольшими в масштабах изготовителей объемами, что существенно затрудняет приобретение и зачастую вынуждает к покупке у посредников;

– покупка у посредников связана с рисками приобретения контрафактной продукции и проблемой подтверждения подлинности сертификатов соответствия;

– организации-изготовители металлической продукции не обязаны представлять данные о подлинности сертификатов соответствия;

– при отсутствии подтверждения сертификатов, а также при отсутствии в организации необходимого испытательного оборудования для осуществления проверки и подтверждения требуемого качества материалов и полуфабрикатов имеют место условия возникновения финансовых потерь и срыва сроков выполнения работ.

В связи с этим организациями РКП представлены следующие предложения:

– ввести систему сертификации/квалификации поставщиков материалов и ПКИ для РКТ;

– организовать централизованные (отраслевые) аудиты поставщиков Госкорпорацией «Роскосмос» с привлечением головных институтов;

– разработать и ввести отраслевой реестр (базу данных) «добросовестных» поставщиков;

– обеспечить совместимость отраслевого реестра с действующей отраслевой системой регистрации и обработки информации о выявленных несоответствиях и отказах в части автоматизированного ранжирования поставщиков на основе данных о выявляемых несоответствиях;



– разработать отраслевой реестр особо ответственных материалов и ПКИ, отраслевой мониторинг (возможно в сотрудничестве с РТ-приемкой) материалов, разрешенных к применению в РКТ;

– ввести единую систему сертификатов качества. Закрепить за изготовителями обязанность подтверждения подлинности сертификатов качества. Создать ЭБД сертификатов качества с доступом конечных пользователей (в том числе организаций РКП);

– создать отраслевой центр закупок. Организовать консолидированные (централизованные) закупки у производителей в интересах отрасли в целях выполнения государственных заказов. Создать «страховые» запасы материалов и ПКИ для обеспечения контрактов по государственным заказам;

– разработать систему мотивации для поставщиков, гарантирующих уровень и стабильность качества и не требующих дополнительных мер при входном контроле;

– ввести практику изготовления и закупки специальных партий ЭКБ с улучшенными характеристиками. Разрешить опережающую закупку ЭКБ в целях выполнения государственных заказов;

– ввести обязательную независимую приемку с привлечением военных представительств, РТ-приемки или иной организации;

– осуществить актуализацию Федерального закона от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» в части отдачи приоритета от цены продукции к ее качеству, введения перечня особых условий для предприятий, изготавливающих РКТ. Поскольку в настоящее время в ряде случаев проведение конкурсных процедур огра-

ничивает возможность отбора именно «добросовестных» поставщиков, возникают ситуации, когда победителями закупочных процедур становятся организации, поставленный товар которых при проведении входного контроля признается негодным к применению;

– разработать подход по оценке качества продукции на основе оценочных матриц, разработанных путем обобщения требований организаций РКП;

– создать на базе одной из головных научно-исследовательских организаций РКП отраслевой орган контроля качества и приемки (испытательный центр) металлических материалов и полуфабрикатов и наделить его полномочиями по осуществлению независимой экспертизы для разрешения спорных вопросов по качеству поставки.

Выполненный анализ показывает, что принимаемые организациями РКП меры по обеспечению качества материалов и ПКИ при осуществлении закупок, а также предложения по необходимым отраслевым мероприятиям носят повторяющийся характер, а применяемые в настоящее время подходы и меры при осуществлении закупки материалов и ПКИ являются системными.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о наличии существенных изменений в подходе к закупке материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий во всей без исключения отрасли, что, безусловно, оказывает положительное влияние в системе обеспечения качества и надежности РКТ. Данный факт подтверждается безаварийностью при осуществлении запусков со всех без исключения космодромов за последние три года.

### Библиографический список

1. Лобанов А.В. Результаты внедрения фото- и видеодокументирования в ракетно-космической промышленности / Лобанов А.В., Жуков В.В., Круглова Ю.В. // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. № 2 – С. 66–68.

2. Лобанов А.В., Жуков В.В., Круглова Ю.В. Проблемные вопросы проведения входного контроля материалов и покупных (комплектующих) изделий // Вестник «НПО «Техномаш». 2021. № 3 – С. 72–75.





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

Тел.: 8 (495) 689-96-66, доб. 22-63. E-mail:

Y.Dorohin@tmnpo.ru

Dorokhin Iurii Nikolaevich – Deputy CEO for Quality Assurance in the Aerospace Manufacturing of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.

Tel.: 8 (495) 689-96-66, доб. 22-63. E-mail:

Y.Dorohin@tmnpo.ru

**Круглова Юлия Васильевна** – заместитель главного технолога АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева».

Тел.: 8 (495) 749-91-63. E-mail: yuliya-frolova-1987@mail.ru

Kruglova Iulia Vasilevna – Deputy Chief Technologist of Khrunichev State Research and Production Space Center

Tel.: 8 (495) 749-91-63. E-mail: yuliya-frolova-1987@mail.ru

**Круглов Игорь Александрович** – заместитель директора центра ФГУП «НПО «Техномаш» имени 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 FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.

Tel.: 8 (495) 689-95-94, ext. 23-09. E-mail: I.Kruglov@tmnpo.ru

УДК 629.7:338.33

*Русанов А.В.*

*Rusanov A.V.*

## **Возможности АО «Воткинский завод» по освоению инновационной продукции для решения задач по диверсификации производства**

### **Opportunities of JSC «Votkinsky Zavod» for the innovative products implementation to solve manufacturing diversification objectives**

Приведены основные направления деятельности предприятия и значимые работы в станкостроении, машиностроении, нефтегазовой отрасли и топливно-энергетическом комплексе. Обозначены проблемы увеличения доли производства продукции гражданского и двойного назначения.

The main areas of the enterprise's activities and significant efforts in machine tools building, mechanical engineering, oil & gas industry and fuel & energy complex are given. The problems of increasing the production share of civilian and dual-use products are outlined.

**Ключевые слова:** станкостроение, нефтегазовое оборудование, буровые насосы, диверсификация производства

**Keywords:** machine tools building, oil and gas equipment, drilling pumps, manufacturing diversification

Во исполнение поручений Президента Российской Федерации Путина В.В. от 05.12.2016 №Пр-2346, от 22.02.2018 №Пр-288, от 18.12.2018

№ Пр-2423 АО «Воткинский завод» ведет непрерывную работу по поиску и проработке перспективных направлений для выпуска высокотехно-



логичной и инновационной продукции гражданского назначения.

На сегодняшний день АО «Воткинский завод», обладая многолетним опытом и компетенциями, продолжает выпуск промышленного оборудования для следующих основных отраслевых направлений:

- нефтегазовая отрасль;

- атомная энергетика;

- научные проекты.

В рамках перспективных направлений АО «Воткинский завод» ведет работу по следующим инновационным проектам:

- озонаторные установки очистки воды;

- станкостроение;

- горно-шахтное оборудование.

### Станкостроение

Производство станков занимает особое место в истории Воткинского завода. С конца 1950-х годов до середины 2000-х предприятием выпущено более 50 тыс. станков различных моделей и модификаций для нужд обрабатывающей промышленности и собственного обрабатывающего производства.

В целях возобновления станкопроизводства с учетом требований современного рынка с 2011 года АО «Воткинский завод» ведет опытно-конструкторские работы (ОКР) в части разработки и изготовления новых моделей обрабатывающих центров с числовым программным управлением (ЧПУ). На сегодняшний день АО «Воткинский завод» накоплены компетенции в области разработки и производства станков с ЧПУ для собственных нужд.

В производственных цехах предприятия успешно эксплуатируются изготовленные опытные образцы трехосевого вертикально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ модели VM600, четырехосевого горизонтально-фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ модели VM170. В процессе разработки находится пятиосевой фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ модели VM700.

В соответствии с утвержденной Стратегией развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 05.11.2020 № 2869-р) и Планом мероприятий по импортозамещению в станкоинструментальной промышленности Российской Федерации на период до 2024 года (утвержден приказом Минпромторга России от 28.06.2021 № 2332) станкоинструментальное производство является одним из перспективных направлений для диверсификации ОПК.

В настоящее время АО «Воткинский завод» в сотрудничестве с ФГУП «НПО «Техномаш», АО «Корпорация «МИТ» и Госкорпорацией «Роскосмос» ведет проработку проекта создания на базе предприятия центра по производству специализированных под задачи предприятий РКП многоцелевых обрабатывающих центров с ЧПУ (ОЦ) мирового уровня в обеспечение инновационного технологического обновления отрасли с дальнейшим выходом на общероссийский и экспортный рынки сбыта.

В рамках проекта АО «Воткинский завод» готово стать головным производителем импортозамещающих многофункциональных токарно-фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ, включая производство на собственных мощностях импортозамещающих комплектующих: поворотные столы, станины и корпусные детали, шпиндели, элементы гидро- и пневмо- аппаратуры, револьверные головки, кабины ограждения, станции подачи СОЖ, зубчатые колеса, зубчатые передачи и электрошкафы.

Следует отметить, что Госкорпорация «Росатом» идет именно по этому пути развития, создавая внутри себя станкоинструментальный кластер, обеспечивающий прежде всего внутренние потребности, и создавая предложение для общего рынка.

Проект создания станкоинструментального производства в АО «Воткинский завод» может иметь отраслевую и межотраслевую ценность и позволит обеспечить защищенную систему поставок станков с ЧПУ для нужд предприятий РКП.

### Озонаторные установки очистки воды

С 2017 года АО «Воткинский завод» в кооперации с АО «Корпорация «МИТ» и ком-

панией «Московские озонаторы» выполняет ОКР по изготовлению не имеющей аналогов



установки очистки воды методом озонирования в модульном (контейнерном) исполнении модели УОВ-20.

Установка УОВ-20 производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч предназначена для очистки исходной воды до состояния питьевой водой в соответствии с требованиями СанПиН на объектах водоподготовки в жилых поселках, малых населенных пунктах, военных городках Минобороны России, промышленных производствах и других объектах, удаленных от системы централизованного водоснабжения.

Установка состоит из отдельных очистных модулей контейнерного типа, изготавливаемых на базе 20-ти футовых морских контейнеров, что обеспечивает мобильное размещение установки на объектах с подключением к системе водоснабжения.

Количество модулей (контейнеров) определяет качество исходной воды на объекте. В базовой комплектации установка состоит из двух контейнеров: модуля озонирования (ОЗ) и модуля фильтрации и сорбции (ФИС). Дополнительно установка может комплектоваться модулями мембранной фильтрации (МФ) и насосной станцией второго подъема (ВНС).

На сегодняшний день АО «Воткинский завод» выполнен следующий объем работ:

– разработана конструкторская документация и изготовлены опытные образцы базовых модулей ОЗ и ФИС с применением полученной от АО «Корпорация «МИТ» комплектации узлов и генератора озона;

– проверена работоспособность систем жизнеобеспечения, проведены испытания на герметичность трубопроводов, транспортировка и функционирование технологического оборудования.

Задача по водоочистке с использованием инновационных технологий, разработанных предприятиями ОПК, входит в федеральный проект «Чистая вода» на период до 2024 года и на дальнейшую перспективу.

В целях обеспечения участия АО «Воткинский завод» в реализации федерального проекта «Чистая вода» на территории Удмуртской Республики и в других регионах при поддержке Главы Удмуртской Республики Бречалова А.В. организована работа с региональным Минстроем и муниципальными образованиями, а также работа с заинтересованными в применении данного решения субъектами Российской Федерации.

Имеющийся производственный потенциал АО «Воткинский завод» позволяет обеспечить серийный выпуск до 100 комплектов установки УОВ-20 в год при соответствующей подготовке производства к серии.

## Нефтегазовое оборудование

В развитие более чем 25-летнего опыта производства нефтегазового оборудования АО «Воткинский завод» продолжается освоение и выпуск новой продукции в интересах топлив-

но-энергетического комплекса России, руководствуясь Планом с решением задач по импортозамещению (приказ Минпромторга России от 31.03.2015 № 645 и изменения к нему).

## Буровые насосы

В настоящее время экстенсивные пути увеличения производительности скважин российскими буровыми компаниями достигают своего предела. Альтернативным путём увеличения объёмов добычи нефти является бурение новых более глубоких скважин на разведанных месторождениях, для чего требуется мощное и производительное оборудование.

Серийный выпуск буровых насосов и агрегатов на АО «Воткинский завод» берет начало с 1998 года. Основой производства по данному направлению являлась модель бурового насоса

8Т-650 мощностью 650 л.с.

С 2018 года по результатам успешных ОКР на предприятии освоено серийное производство бурового насоса модели 9Т-800, мощностью 800 л.с (588 кВт, давление 35 МПа, масса 12,5 тонн).

Буровые насосы используются для нагнетания бурового раствора в бурильную колонну и обеспечения очистки забоя от разбуренной породы. Изделия работают при температуре от минус 60°С до плюс 40°С и могут быть укомплектованы дизельным, электрическим, гидравлическим приводами.

В настоящее время АО «Воткинский завод» осуществляет ОКР по освоению выпуска новой модели бурового насоса повышенной произ-

водительности 12Т-1600 мощностью 1600 л.с (1200 кВт, давление 51,7 МПа, масса изделия 25 тонн).

### Насосы типа ЦНС для поддержания пластового давления

С середины 90-х годов прошлого века одним из ключевых направлений нефтяной тематики для АО «Воткинский завод» стало производство центробежных насосов для систем поддержания пластового давления типа ЦНС и насосных агрегатов на их основе.

Горизонтальные центробежные секционные многоступенчатые насосы типа ЦНС предназначены для закачки в нефтяные пласты пресных, пластовых и сточных нефтепромысловых вод для поддержания пластового давления. Место эксплуатации насосов – капитальные и блочные кустовые насосные станции.

Сегодня на предприятии освоено серийное производство насосов с подачами от 25 до 240 м<sup>3</sup>/ч и напором от 1000 до 2100 м.

В развитие направления по результатам ОКР изготовлен опытный образец нового насо-

са ЦНСп 240-1422 с оппозитным (симметричным) расположением рабочих колес по принципу «спина к спине» (back-to-back). В рамках текущих ОКР АО «Воткинский завод» ведется разработка конструкторской документации для освоения производства новых моделей насосов типа ЦНС по направлениям:

- насосы, соответствующие требованиям [1] (аналог американского API 610);
- насосы в оппозитном исполнении с подачами от 40 до 240 м<sup>3</sup>/ч;
- энергоэффективные насосы, обладающие повышенным КПД;
- насосы из коррозионно- и износостойких материалов, таких как дуплексные и супердуплексные стали;
- высоконапорные насосы с большими подачами – 630 и 720 м<sup>3</sup>/ч.

### Технологическое оборудование для скважин

С начала 2000-х АО «Воткинский завод» ежегодно ведется разработка и выпуск технологического оборудования для обустройства нефтяных и газовых скважин, предназначенного для спуска, подвешивания и крепления потайных колонн обсадных труб с герметизацией затрубного пространства «головы» хвостовиков в промежуточных, предварительно обсаженных боковых, наклонных и горизонтальных нефтяных и газовых скважинах в целях обеспечения высокой дебитности и отдачи скважин.

Предприятие серийно изготавливает технологическое оборудование типа ТГС на условный диаметр обсадных труб 102, 114 и 127 мм.

С 2018 года в АО «Воткинский завод» выполняются ОКР по освоению производства составных узлов комплекта технологического оборудования и инструмента для проведения многостадийного гидравлического разрыва пласта (МГРП). К настоящему времени часть опытных образцов проходит типовые испытания и готовится к проведению эксплуатационных испытаний.

### Газовое оборудование

С 1997 года на заводе освоено серийное производство контейнеров типа К16 для транспортировки и хранения одоранта смеси природных меркаптанов (СПМ) объемом 2,5 м<sup>3</sup>.

С 2020 года освоено и ведется производство контейнеров с увеличенным объемом 3,14 м<sup>3</sup> и исполнением из нержавеющей стали.

В развитие многолетнего серийного выпуска регуляторов типа РДУ для снижения и автоматического поддержания давления газа на заданном значении в 2020 году освоено серийное

производство регуляторов с теплогенератором модели РДУт и регулятора давления модели РДУм.

По новой конструкторской документации возобновлен выпуск быстросменных сужающих устройств (БСУ/УСБ), предназначенных для замера расхода газа в магистральных газопроводах и газопроводах подачи газа на энергообъекты. В 2005–2010 годах Воткинский завод уже осваивал производство БСУ с проходным условным сечением  $D_y$  от 50 до 1000 мм.





### Запорно-регулирующая арматура

В АО «Воткинский завод» освоено серийное производство запорно-регулирующей арматуры (ЗРА) для нефтегазового комплекса, включая задвижки клиновые стальные, маслонеполненные, шибберные, клапаны запорные с максимальным условным проходом до 65 мм и максимальным давлением до 21 МПа.

В рамках работ по импортозамещению осевой арматуры для нужд ПАО «Газпром» АО «Воткинский завод» изготовлен опытный образец клапана антипомпажного осево-

го потока 300КОП1 – импортозамещающего решения голландской фирмы Mokveld Valves. Изделие предназначено для перекрытия и регулирования потока природного газа в трубопроводе.

В соответствии с техническими условиями (ТУ 3742-002-25579857-2010) Воткинский завод имеет возможность освоения производства типоразмерного ряда антипомпажных клапанов осевого типа  $D_y$  от 300 до 1400 мм и номинальным давлением от 1,6 до 20,0 МПа.

### Взаимодействие с отраслевыми заказчиками топливно-энергетического комплекса

В целях организации производства новой серийной номенклатуры оборудования в интересах топливно-энергетического комплекса (ТЭК), в том числе замещающего зарубежные аналоги, АО «Воткинский завод» организована работа по налаживанию сотрудничества с ключевыми отраслевыми заказчиками.

Совместно с Правительством Удмуртской Республики организовано взаимодействие с ПАО «СИБУР-холдинг», выразившем заинтересованность в работе с АО «Воткинский завод».

По результатам совместного совещания с ООО «Сибур» оформлен протокол по вопросам совместного сотрудничества, и ведутся работы по технико-экономической оценке возможности изготовления капитальных узлов к компрессорному оборудованию.

Для подключения производственной базы АО «Воткинский завод» к научно-исследовательским опытно-конструкторским работам (НИОКР) и ОКР по изготовлению опытных об-

разцов импортозамещающего и инновационного оборудования для ТЭК направлены соответствующие обращения о развитии сотрудничества в ПАО «НОВАТАЭК», ООО «Газпром 335», ПАО «Транснефть», Департаменты 335 и 623 ПАО «Газпром».

В развитие направленных обращений проводятся работы по технико-экономической оценке возможности изготовления оборудования по следующим темам:

– подводный насосный агрегат для перекачивания смеси газового конденсата, пластовой воды и раствора.

– ремонтные конструкции, муфтовые и разрезные тройники для врезки и ремонта на действующих нефтепроводах и другая продукция.

Также ведется работа по организации взаимодействия с отраслевыми заказчиками в рамках дорожных карт Госкорпорации «Роскосмос», Министерства торговли и промышленности Российской Федерации.

### Горно-шахтное оборудование

Согласно плану Минпромторга России по импортозамещению в отрасли тяжелого машиностроения доля импорта по горному оборудованию на российском рынке в среднем составляет более 80%, а по некоторым позициям достигает 100%.

Производство горно-шахтного оборудования массой до 33 тонн соответствует технологическим переделам АО «Воткинский завод» и представляет значительный импортозамещающий и производственный потенциал.

По указанному направлению налажено сотрудничество с Донецкой Народной Республикой (ДНР) и Госкорпорацией «НПО «Прогресс» (г. Донецк), являющейся производственным объединением ведущих научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов и машиностроительных заводов Донбасса.

Госкорпорация «НПО «Прогресс» обладает многолетним опытом и компетенциями в области разработки и производства горно-шахтного

оборудования, не уступающего по характеристикам продукции компаний Чехии, Польши, Германии, Китая, США, и заинтересовано в локализации производства горно-шахтного оборудования на территории России.

По результатам визита представителей ДНР в АО «Воткинский завод» в апреле текущего года

### Оборудование для атомной отрасли научных проектов

За последнее десятилетие одним из ключевых направлений по диверсификации производства для Воткинского завода стало изготовление высокотехнологичного и наукоемкого оборудования для атомной энергетики и научных проектов.

К числу изготовленного в сотрудничестве с научно-исследовательскими институтами оборудования относятся:

- узлы исследовательских реакторных установок ИРВ-М2 (НИИП, г. Лыткарино) и ИБР-2М (ОИЯИ, г. Дубна);

- большое и малое колеса детектора ATLAS Большого адронного коллайдера (МЦЯИ, Женева);

- механизмы перегрузки для первой в мире плавучей АЭС «Академик Ломоносов»;

- защитные камеры и нестандартное оборудование участков изготовления инновационного МОКС-топлива во ФГУП «Горно-химический комбинат» (г. Железнодорожск) и СНУП-топлива для АО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск);

- гидроамортизаторы антисейсмические для Ленинградской АЭС-2, Ростовской АЭС, Белорусской АЭС, АЭС «Руппур»;

- элементы фланцевых соединений и нестандартные изделия для реактора ПИК;

и многие другие проекты.

В развитие имеющегося опыта АО «Воткинский завод» продолжает сотрудничество с научно-исследовательскими институтами в рамках проектов по созданию инновационных реакторных установок и научно-исследовательских установок класса «мегасайенс».

между АО «Воткинский завод» и Госкорпорацией «НПО «Прогресс» оформлены протокол и дорожная карта, включающие комплекс мероприятий по проработке проекта организации производства горно-шахтного оборудования в составе механизированных крепей и очистных комбайнов для добычи угля подземным способом.

Отдельно по данному направлению хочется отметить начатое в 2020 году сотрудничество с Институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск). В рамках заключенного договора АО «Воткинский завод» ведется изготовление криостата в сборе – одного из основных элементов солениода PANDA, входящего в комплекс оборудования строящегося синхротрона FAIR (Дармштадт, Германия). Работы по направлению стали возможны только по результатам полноформатного аудита специалистами ИЯФ СО РАН сварочного производства АО «Воткинский завод», в ходе которого подтвержден высочайший уровень сварщиков предприятия, а технологические процессы и процедуры соответствующими требованиям европейских норм и стандартов к данному оборудованию. Обществом продолжается работа с ИЯФ СО РАН по проработке возможности изготовления оборудования для синхротронов «СКИФ» и FAIR.

Также ведутся работы по следующим направлениям:

- АО «НИКИЭТ» – изготовление оборудования для инновационной реакторной установки БРЕСТ-ОД-300;

- АО «СвердНИИхиммаш» – изготовление нестандартного оборудования для объектов ядерного топливного цикла;

- ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (г. Саров) – изготовление изделий специального назначения;

- НИЦ «Курчатовский институт» – изготовление оборудования для реакторной установки ПИК, оборудования для промышленных ускорителей.

### Заключение

Сегодня перед всем ОПК поставлена задача по увеличению доли производства продукции

гражданского и двойного назначения до 50% в общем объеме производства к 2030 году.



АО «Воткинский завод» видит решение данной задачи, прежде всего, через развитие сотрудничества с ведущими научно-исследовательскими институтами, отраслевыми заказчиками, инновационными предприятиями в целях подключения производственного комплекса предприятий ОПК к реализации НИОКР, ОКР по выводу на рынок высокотехнологичного импортозамещающего и инновационного оборудования. Основная часть позиций из отраслевых планов Минпромторга России по импортозамещению характеризуется значительным уровнем наукоемкости.

Это означает невозможность вывода на рынок конкурентоспособной наукоемкой продукции без кооперации изготовителей ОПК с научно-исследовательскими институтами, конструкторскими бюро, субподрядчиками и поставщиками для проведения полноформатных НИОКР, разработки ноу-хау, выстраивания производственных цепочек кооперации.

При этом весь комплекс работ должен быть профинансирован, обоснован и осуществляться при непосредственном взаимодействии с техническими службами отраслевого заказчика и полном вовлечении представителей служб заказчика в данную работу. В настоящее время процесс не имеет общего регулятора и единого для всех участников основания для проведения работ.

Вышеуказанные работы по аналогии с кооперацией предприятий по линии государственного оборонного заказа могут быть реализованы в рамках комплексного государственного заказа для предприятий ОПК на выполнение НИОКР, ОКР и изготовление опытных образцов высокотехнологичного импортозамещающего оборудо-

ования с дальнейшей организацией серийного производства.

По результатам прошедшего 24–26 марта 2021 года XVI Всероссийского форума-выставки «ГОСЗАКАЗ» Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Ю.И. Борисовым подписано поручение от 26.04.2021 № ЮБ-П7-5298, где Минпромторгу России, Минфину России, Минэкономразвития России даны задачи по проработке комплекса вопросов, в том числе вопроса развития и применения государственными компаниями и естественными монополиями механизма гарантированного заказа, фиксирующего объемы обязательного приобретения продукции у организаций ОПК.

Государственный заказ на высокотехнологичную гражданскую продукцию может стать наиболее эффективным решением для планомерной и стабильной загрузки предприятий ОПК в целях выполнения поручений Президента и Правительства Российской Федерации по диверсификации и отраслевых планов по импортозамещению, учитывая планомерное снижение объемов производства по государственному оборонному заказу.

Механизм формирования заказа может быть реализован через заключение трехсторонних контрактов между производителем ОПК, отраслевым заказчиком (ТЭК, промышленность) и Министерством промышленности и торговли Российской Федерации как государственным регулятором на ОКР по изготовлению опытных образцов импортозамещающего оборудования и оборудования с улучшенными эксплуатационными характеристиками с дальнейшим переходом на серийное производство.

### Библиографический список

1. ГОСТ 32604-2013. Насосы центробежные для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности. М.: Стандартинформ, 2015. – 302 с.

**Русанов Андрей Владимирович** – заместитель генерального директора по диверсификации и договорной работе АО «Воткинский завод».

Тел.: +7 (341) 456-53-53. E-mail: zavod@vzavod.ru

Rusanov Andrei Vladimirovich – Deputy CEO for Diversification and Contractual Work of JSC «Votkinsky Zavod»

Tel.: +7 (341) 456-53-53. E-mail: zavod@vzavod.ru

УДК 629.78:621.372.8

Масанов А.Г., Злотенко В.В.  
 Masanov A.G., Zlotenko V.V.

## Изготовление гибких волноводов для космических аппаратов

### Manufacturing of flexible waveguides for space vehicles

В статье приведены технологические схемы изготовления гибких волноводных секций, применяемые на производстве. В зависимости от сечения заготовки формообразование гофр ведется с применением эластичного пуансона или методом гидроформовки. Также приведена конструкция соответствующих установок и описан принцип их работы.

The article presents technological schemes for fabrication of flexible waveguide sections used in manufacturing. Depending on the cross-section of the workpiece, corrugations are formed using an elastic punch or by hydroforming. It also describes the corresponding plant design and operating principles.

**Ключевые слова:** гибкий волновод; гибкая волноводная секция; антенно-фидерная система; космический аппарат

**Keywords:** flexible waveguide; flexible waveguide section; antenna and feeder system; space vehicle

#### Введение

В соответствии с принципами конструирования волноводных трактов антенно-фидерной системы космического аппарата (АФС КА) для компенсации монтажных напряжений при сборке, температурной компенсации, демпфирования вибраций, в волноводные тракты устанавливаются гибкие волноводы (ГВ). Гибкие волноводы для АФС КА должны быть минимальными по массе, устойчивыми к космическому излучению, иметь высокие упругие свойства в температурном диапазоне  $\pm 120^\circ\text{C}$  и заданные радиотехнические характеристики. Исходя из этих требований, для изготовления ГВ выбран

материал – бериллиевая бронза БрБ2 с покрытием внутреннего канала серебром, обладающим высокой электропроводностью: проводимость  $6,17 \cdot 10^7$  См/м, поверхностное сопротивление  $2,52 \cdot 10^{-2}$  Ом [1]. Серебро наносится электролитическим способом.

В общем случае гибкий волновод состоит из гофрированной гибкой волноводной секции (ГВС) прямоугольного поперечного сечения, представленной на рис. 1а, с соединительными фланцами на концах. Для снижения массы волноводного тракта ГВС может быть интегрирована в волновод, показанный на рис. 1б.

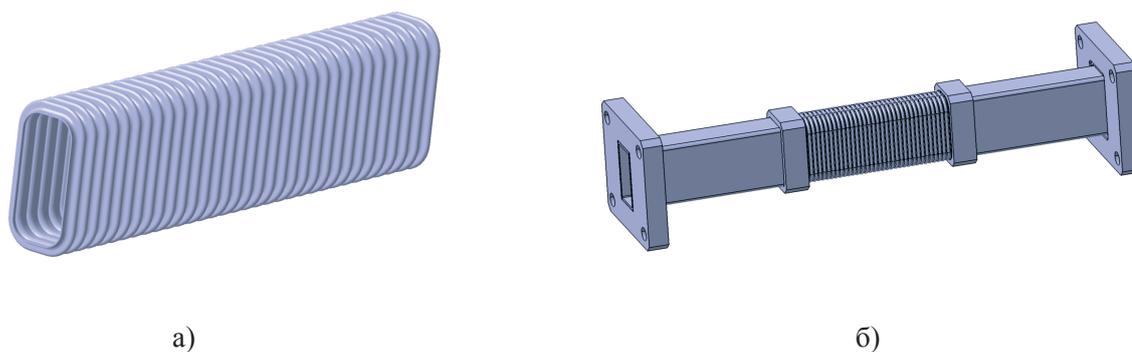


Рис. 1. Гофрированная гибкая волноводная секция



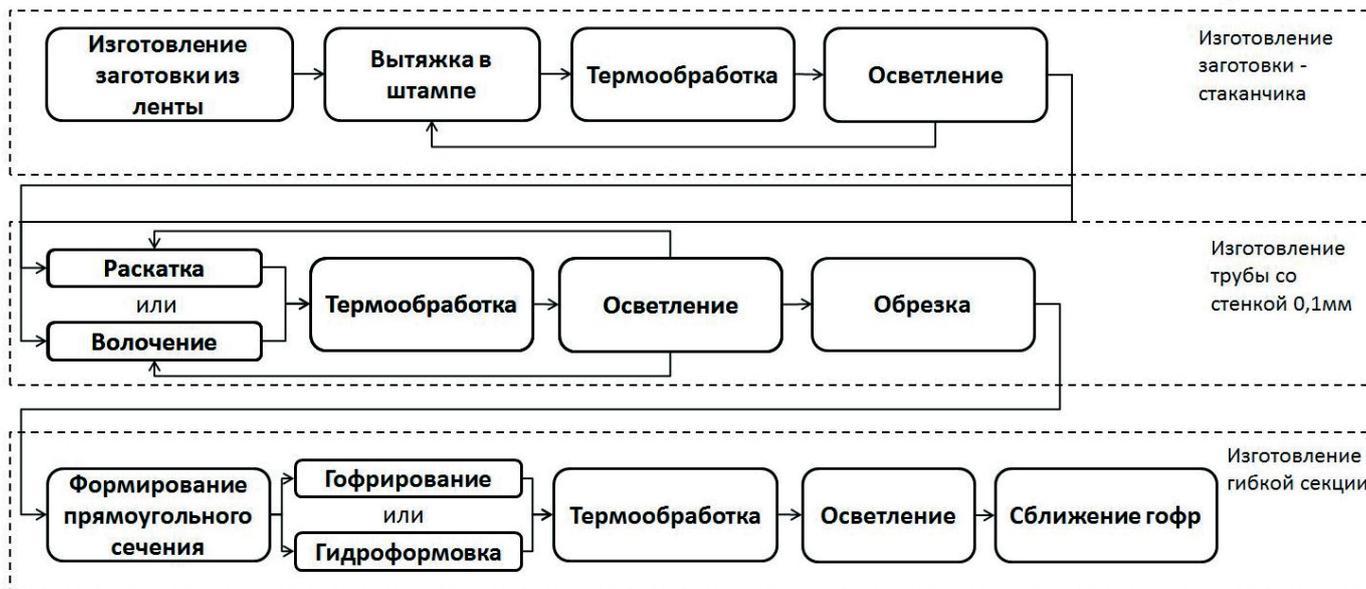


Рис. 2. Блок-схема технологии изготовления ГВС

### Технология изготовления гибкой волноводной секции

Заготовки ГВС в условиях мелкосерийного производства изготавливаются из листа методом многопереходной вытяжки с последующим волочением [2]. В результате холодной пластической деформации получаем тонкостенную трубную заготовку с толщиной стенки 0,1 мм. Внутренний диаметр круглой заготовки зависит от заданного сечения ГВС.

Переход от круглого поперечного сечения заготовки к прямоугольному осуществляется с применением специальной профилирующей оснастки.

Заготовка прямоугольного сечения передаётся на установку гофрирования. В зависимости от величины сечения ГВС гофрирование выполняется с использованием двух различных технологий:

- гофрирование заготовок ГВС сечением WR51, WR62, WR75, WR90, WR112, WR137, WR229, WR340 выполняется методом формования эластичным пуансоном;

- гофрирование заготовок ГВС сечением WR22, WR28, WR34, WR42 выполняется методом гидроформовки.

На рис. 2 представлена блок-схема технологии изготовления ГВС.

В установке для гофрирования ГВС, представленной на рис. 3, гофрирование заготовки осуществляется разжимным эластичным пуансоном, находящимся внутри заготовки ГВС.

На установке необходимо отрегулировать ход штока на величину шага гофра, надеть заготовку на пуансон и устранить перекосы. Перед началом работы на гладкую поверхность матрицы для уменьшения трения между заготовкой и матрицей наносят тонкий слой смазки.

При рабочем ходе силового штока эластичный пуансон сжимается и давит на стенки трубы-заготовки, формируя ее в соответствии с поверхностью матрицы. В процессе деформации заготовки давление на ее стенки постоянно в каждой точке поверхности за счет упругих свойств пуансона. Это обеспечивает точное соответствие форм гофра и матрицы и равномерную вытяжку металла заготовки.



Рис. 3. Установка гофрирования ГВС сечением WR51-WR340

После того как гофр отформован, сжимающее усилие снимается с пуансона, матрица разъединяется и шток, на котором помещен пуансон вначале поднимается, а затем вместе с заготовкой волноводной трубы опускается на шаг  $t$  (шаг гофра). Последующий процесс гофрообразования повторяется в той же последовательности. Все указанные операции, кроме установки заготовки, производятся автоматически. Геометрические размеры поперечного сечения гофрированных секций, полученных этим способом, изменяются строго периодически. Матрица должна конструироваться с учетом упругих деформаций формируемого материала. Точность ее изготовления будет определять точность изготовления гофрированной волноводной трубы [3].

После гофрирования заготовка ГВС сжимается на установке сближения гофр.

Окончательно сформованная ГВС показана на рис. 4.

При изготовлении ГВС методом гидроформовки заготовка устанавливается между двумя полуматрицами, собранными из подвижных пластин, герметизируется по торцам и включается в гидравлический контур. Внутреннее давление для формообразования создает жидкость (дистиллированная вода), под давлением подаваемой внутрь заготовки. При этом образование волны гофра происходит за счет втягивания свободной части заготовки в полость матрицы между подвижными пластинами с одновременным их сближением за счет создаваемого осевого давления. При такой схеме формования отсутствует уменьшение толщины стенки трубы и за счет равномерного давления не наблюдается вмятин, наклепа и порывов поверхности [4]. На рис. 5 показана установка гидроформовки.

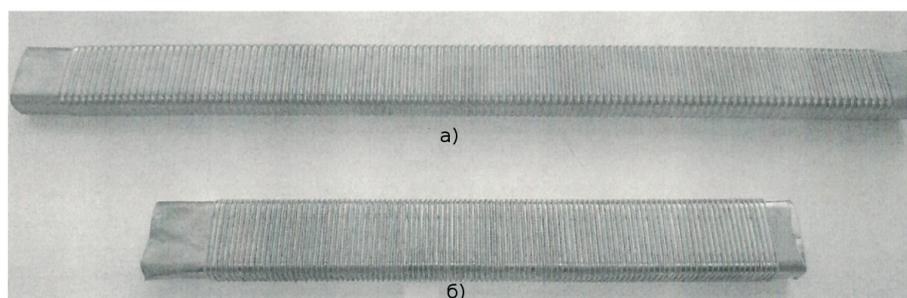


Рис. 4. Гибкая волноводная секция сечением WR75: а) после гофрирования б) после сближения гофр

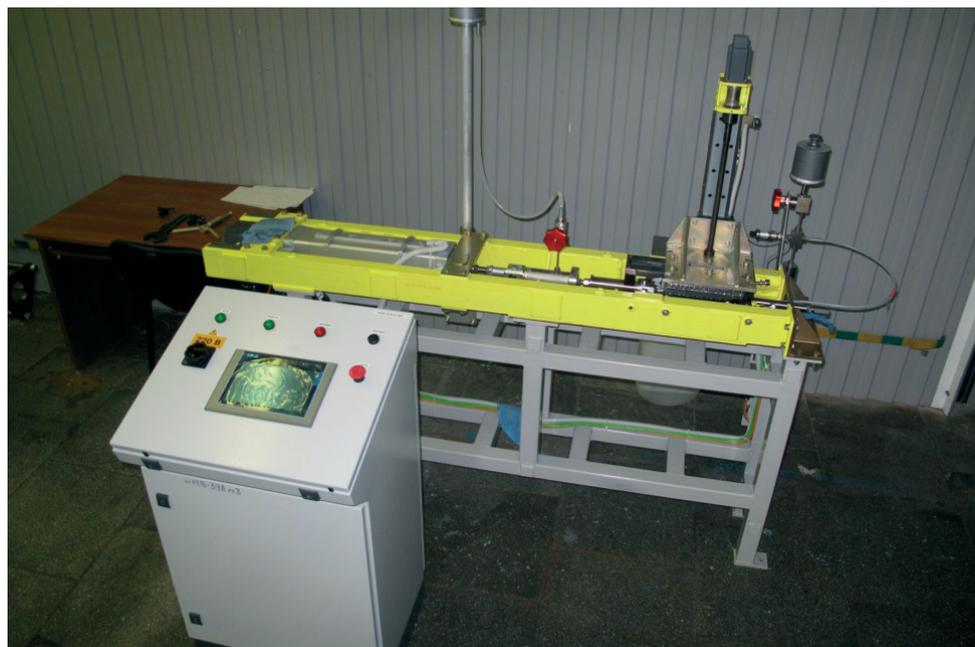


Рис. 5. Установка гидроформовки

### Особенности технологии изготовления гибкого волновода

Гибкие волноводы изготавливаются с использованием гибкой волноводной секции по двум вариантам технологий:

- технология высокотемпературной пайки. Пайка производится припоем ПСр40 с флюсом ПВ 209 при температуре 650°–670°С;
- технология низкотемпературной пайки. Пайка производится припоем ПСр3Кд с флюсом ФДФС при температуре 360°–380°С.

Последовательность технологических операций при высокотемпературной пайке: пайка → отмывка флюса → осветление → термообработка (старение) → гальваническое покрытие серебром → контроль радиотехнических характеристик → окончательная сдача.

Последовательность технологических операций при низкотемпературной пайке: гальваническое покрытие серебром фланцев и ГВС → пайка → отмывка флюса → контроль радиотехнических характеристик → окончательная сда-

ча. На рис. 6 показаны изготовленные гибкие волноводы.

Изготовленные по представленной технологии гибкие волноводы прошли полный цикл необходимых испытаний, в том числе транспортные испытания, испытания на удар, ресурсные испытания, радиотехнические испытания. Результат испытаний положительный.

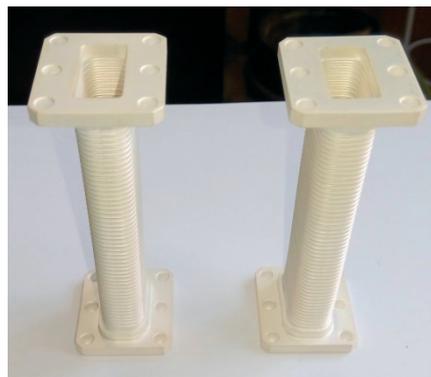


Рис. 6. Изготовленные гибкие волноводы сечением WR75

### Вывод

Представленная технология позволяет изготавливать гибкие волноводы для волноводных трактов АФС КА.

### Библиографический список

1. Чернушенко А.М., Меланченко Н.Е., Малорацкий Л.Г., Петров Б.В. Конструкции СВЧ устройств и экранов. – М.: Радио и связь, 1983. – 400 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. Бушминский И.П. Изготовление элементов конструкций СВЧ. Волноводы и волноводные устройства: учеб. пос. – М.: Высшая школа, 1974. – 304 с.
4. Марычев С.Н. Технология изготовления упругих элементов приборов: учеб. пос. – Владимир: Влад. гос. ун-т, 2008. – 36 с.

**Масанов Андрей Глебович** – заместитель главного технолога АО «ИСС».

Тел.: +7 (391) 972-24-39.

E-mail: office@iss-reshetnev.ru

Masanov Andrey Glebovich – Deputy Chief Technologist of JSC «ISS».

Tel.: +7 (391) 972-24-39.

E-mail: office@iss-reshetnev.ru

**Злотенко Владимир Владимирович** – канд. техн. наук, ведущий специалист АО «ИСС».

Тел.: +7 (391) 972-24-39.

E-mail: office@iss-reshetnev.ru

Zlotenko Vladimir Vladimirovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Specialist of JSC «ISS».

Tel.: +7 (391) 972-24-39.

E-mail: office@iss-reshetnev.ru

УДК 629.7:004

*Пантелеев К.Д., Цырков А.В., Чернодод И.И.*  
*Panteleev K.D., Tsyrkov A.V., Chernoded I.I.*

## **Облик, архитектура и этапы создания электронной базы знаний по производственным технологиям предприятий ракетно-космической промышленности**

### **Appearance, architecture, and stages on the development of an digital knowledge base on production technologies of aerospace industry enterprises**

Сформулирована общая постановка задачи к проблеме формирования отраслевой нормативной базы и информационно-аналитического обеспечения стратегического и программно-целевого планирования в системе управления опережающим развитием промышленных технологий производства изделий ракетно-космической техники. Показана стратификация уровней базы знаний промышленных технологий. Предложены системный подход, методологические требования, аппарат структурно-параметрического синтеза базы знаний по производственным технологиям предприятий ракетно-космической промышленности.

The general statement of the objective to the formation problem of the industry regulatory framework and information-analytical support of strategic and program-target planning in the management system of industrial technologies advanced development for the aerospace products manufacturing is formulated. The stratification of knowledge base levels for industrial technologies is shown. A systematic approach, methodological requirements, and apparatus for structural-parametric synthesis of the knowledge base for manufacturing technologies of aerospace enterprises have been proposed.

**Ключевые слова:** база данных, база знаний, информационно-аналитическая система, мониторинг технологий, ракетно-космическая техника, стратегическое планирование, программно-целевое планирование, научно-технологический задел

**Keywords:** database, knowledge base, information-analytical system, technology monitoring, aerospace equipment, strategic planning, program-targeted planning, scientific and technical practices

Задачи управления научно-технологическим заделом (НТЗ) по промышленным технологиям изготовления перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ) должны решаться на основе массивов информации о базовых и критических технологиях, которые составляют основу производства. Исходя из таких задач, возникает потребность в создании и сопровождении информационно-аналитической системы (ИАС) на основе электронной базы знаний (БЗ), которая должна стать основой информационной поддержки в принятии решений по управлению НТЗ.

В исследовании проведен анализ основных направлений автоматизации информационно-аналитического обеспечения (ИАО) мониторинга технологий предприятий ракетно-космической промышленности (РКП), на основе которого выработаны требования, методология и дорожная карта создания БЗ по базовым и критическим технологиям изготовления изделий РКТ.

Настоящая работа актуальна, поскольку является одним из направлений системного подхода в организации современной технологии информационной поддержки управления НТЗ в отрасли.





Рис. 1. Основные структурные элементы объекта исследования

Объектом исследования являются нормативная база и массивы знаний мероприятий ИАО управления по созданию опережающего НТЗ в области базовых и критических технологий производства изделий РКТ предприятий ракетно-космической промышленности (РКП) Госкорпорации «Роскосмос» (далее – управление технологиями), мероприятий мониторинга обеспеченности предприятий РКП промышленными технологиями производства космических средств на период до 2030 года (мероприятий мониторинга технологий).

Аспекты исследования включают: создание и применение общепромышленной БЗ для всех видов промышленных технологий производства изделий РКТ, мониторинг и анализ информации о развитии промышленных технологий производства изделий РКТ от предприятий РКП, разработку и применение регламентов информационного взаимодействия в системе управления опережающим развитием промышленных технологий производства изделий РКТ, обеспечение интерфейсов передачи данных в системы БЗ и внешние системы, верификацию каталогизированных данных об уровне готовности промышленных технологий и производства изделий РКТ (рис. 1).

Цель исследования – разработка и обоснование облика, архитектуры и этапов создания электронной отраслевой БЗ по базовым и критическим технологиям производства изделий РКТ. Модель отраслевой БЗ должна быть адаптивна и позволять гибко подстраиваться под меняющиеся потребности субъектов управления технологиями.

Отраслевая БЗ рассматривается как подсистема отраслевой ИАС управления промышленными технологиями и должна быть сформирована на основе единого методического, организационного и программно-математического обеспечения.

В соответствии с поставленными целями сформированы группы задач БЗ в системе технологического развития РКП: информационные, аналитические, расчетно-прогностические, управления системой.

Для достижения целей исследования разработаны Программная архитектура и функционал БЗ (рис. 2).

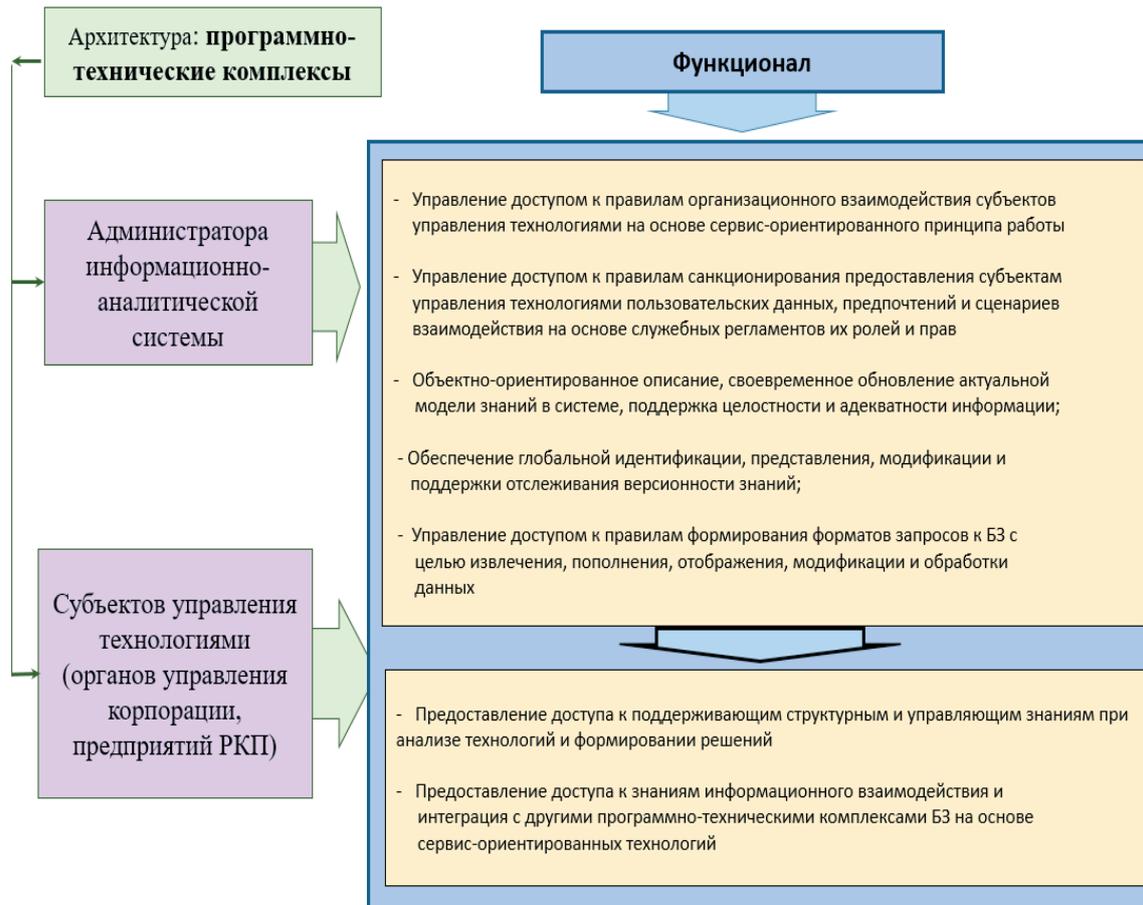


Рис.2. Программная архитектура и функционал

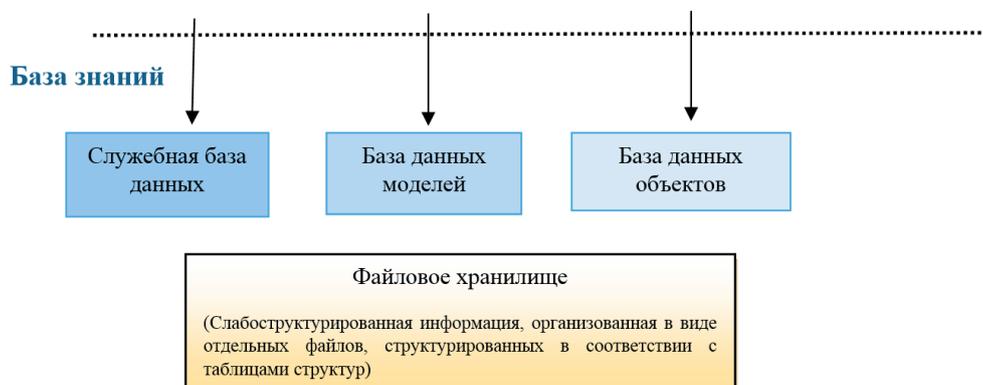


Рис.3. Архитектурная модель базы знаний

Архитектура БЗ включает служебную БД, БД моделей, БД объектов (рис. 3) [1].

В служебной БД хранится вся необходимая служебная информация как о самой системе и ее модулях, так и о пользователях-субъектах управления технологиями.

БД моделей включает следующие группы моделей представления данных:

– модели структур (базовых категорий, сущ-

ностей), отношений вхождения, отношений наследования (основные модели);

– модели предметных областей;

– временные модели (выборки из основных моделей);

– модели представления знаний (онтологическая, фреймовая, продукционная (порождения), исчисления предикатов, исчисления высказываний).



В структуре БЗ два уровня – стратегический и тактический. Каждому соответствуют функциональные группы знаний (рис. 4.).

В основе методологии исследования лежит систематизация технологий создания перспек-

тивных изделий РКТ. В исследовании сформулированы методологические требования к БЗ и разработана концептуальная схема предметной области ИАС, включающая уровень данных и уровень знаний (рис. 5).



Рис. 4. Структура БЗ



Рис.5. Методология и планируемые результаты

Уровень данных включает в себя исходные данные, полученные от предприятий.

Уровень знаний – модели поисковых, аналитических и синтетических правил, модели расчета формирования и расчета показателей технологий, методологии синтеза выводов об обеспеченности предприятий промышленными технологиями.

В результате создания макета ИАС планируется получить автоматизированную отраслевую систему обеспечения управления НТЗ в области базовых и критических технологий предприятий РКП.

В рамках практической части исследований ФГУП «НПО «Техномаш» совместно с партнерами разработано программное и методическое обеспечение решения проблемы по управлению предприятиями ракетно-космической отрасли на основе методологии проектно-операционного управления (ПОУ) [2, 3]. Базовой идеей методологии (рис. 6) является объединение механизмов управления, традиционно используемых в *PLM*-комплексах (*work flow*) и *ERP*-системах (*MRP-II/APS*).

Система управления, построенная на принципах ПОУ, обеспечивает:

- снижение цикла разработки новых изделий на 10...25% за счет параллельного, скоординированного моделирования процессов конструкторского и технологического проектирования, логистического сопровождения и изготовления;
- балансировку и рациональное использование ресурсов за счет применения методов *APS*

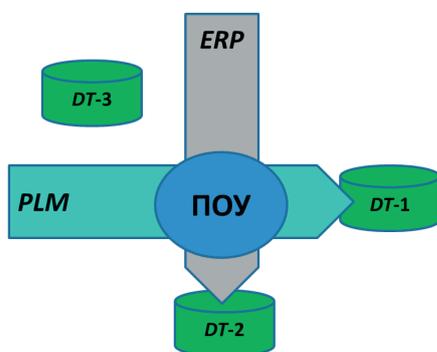


Рис. 6. Интерпретация базовой идеи методологии ПОУ

(*advanced planning and scheduling*) при планировании процессов;

- консолидированное управление процессами создания новых изделий и изготовления серийной (мелкосерийной) продукции.

Средства сопровождения (проектирования и анализа) элементов информационного обеспечения системы обладают высокой степенью автоматизации на основе использования баз знаний.

Система выполняет задачу «координатора» над действующими на предприятии функционалами *PLM* и *ERP* без изменения структуры существующих бизнес-процессов и программно-инструментальных средств обеспечения работы инженерных и планово-экономических подразделений. За счет этого данная разработка существенно повышает уровень гибкости и мобильности предприятия при формировании решений на всех уровнях управления (предприятие, отдел/цех, конечный исполнитель) на любой стадии жизненного цикла изделия (ЖЦИ).

Предлагаемая система становится инструментом типизации цифровых двойников изделий, технологий, процессов и производств в отрасли.

В соответствии с концепцией «Индустрия 4.0» цифровые двойники (*Digital Twin – DT*) – это комплекс динамических информационных моделей представления данных о физическом объекте и процессах его создания. Построение *DT* как массивов данных изделий, технологий, процессов и производств определяется общей концепцией «*Big Data*». При этом в условиях перехода от стадий проектирования к производству изделия информационные модели могут трансформироваться не только по содержанию, но и по структуре. Система на основе ПОУ обеспечивает структуризацию и сопровождение массивов данных и БЗ путем формирования цифровых двойников:

- *DT-1* – изделия;
- *DT-2* – процессов разработки и производства изделия, обеспечивающего идентификацию формируемых характеристик изделия;
- *DT-3* – производственной системы, обеспечивающей решение следующих задач:



контроль и регулирование параметров технологий, оборудования и средств технологического оснащения;

управление материально-техническими и трудовыми ресурсами (оборудование, здания, объекты инфраструктуры, персонал);

сопровождение информационного паспорта предприятия;

структуризация и сопровождение БЗ по производственно-технологическим решениям;

сопровождение материалов по анализу проектно-производственной деятельности предприятия.

Применение *DT-3* для предиктивного моделирования состояния проектно-производственной среды предприятий позволит существенно повысить их эффективность.

При этом необходимо отметить, что использование *DT-3* представляется особенно актуальным для предприятий РКП, характеризующихся мелкосерийным и единичным типом производства.

Во ФГУП «НПО «Техномаш» разработан и апробирован прототип одного из разделов *DT-3* – паспорт предприятия.

### Вывод

Согласно результатам проведенных исследований ФГУП «НПО «Техномаш» может обеспечить:

1. Систематизацию общих требований к ИАО стратегического и программно-целевого планирования мероприятий по созданию опере-

жающего НТЗ в области базовых и критических технологий предприятий РКП.

2. Создание системы корпоративных программно-информационных сервисов поддержки управления НТЗ в области базовых и критических технологий предприятий РКП.

### Библиографический список

1. Нечаев В.В., Кошкарёв М.И. Интеллектуальные решатели задач: сравнительный анализ и архитектурная модель // Информационные и телекоммуникационные технологии. – 2014. – № 21. – С. 51–61.

2. 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.

3. 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.

**Пантелеев Константин Дмитриевич** – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.  
Тел.: 8(495) 689-95-26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa  
Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Research Officer of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: 8(495) 689-95-26. E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

**Чернодод Игорь Иванович** – руководитель проекта ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.  
Тел.: 8(495) 689-31-73. E-mail: I.Chernoded@tmnp.ru  
Chernoded Igor Ivanovich – Project Manager of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: 8(495) 689-31-73. E-mail: I.Chernoded@tmnp.ru

**Цырков Александр Владимирович** – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.  
Тел.: 8(495) 689-74-34. E-mail: A.Tsyrvkov@tmnp.ru  
Tsyrvkov Aleksandr Vladimirovich – Doktor Nauk in Engineering, prof., Principal Research Officer of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: 8(495) 689-74-34. E-mail: A.Tsyrvkov@tmnp.ru

УДК 629.7:001.89

*Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Чернодод И.И., Захаров В.А.  
Panteleev K.D., Rakhmievich E.G., Chernoded I.I., Zakharov V.A.*

## **Основные направления НИР «Технологии–2025» по мониторингу обеспечения опережающего производственно-технологического задела при создании перспективных изделий ракетно-космической техники**

### **The main directions in research effort «Technologies-2025» to monitor the ensuring of the advanced manufacturing and technological reserve in the advanced technology for aerospace products development**

Сформулирована общая постановка задачи к проблеме мониторинга обеспеченности предприятий ракетно-космической промышленности технологиями производства космических средств (мониторинг технологий) в системе управления опережающим развитием промышленных технологий производства изделий ракетно-космической техники. Показана стратификация уровней цели и направлений исследования. Предложены системный подход, методология информационно-аналитического обеспечения мониторинга технологий, модель формирования дорожных карт в отраслевой системе опережающего развития промышленных технологий. Представлены методологические требования к созданию и сопровождению информационно-аналитической системы на основе электронной базы знаний, структурно-логические схемы мероприятий в системе опережающего развития промышленных технологий Госкорпорации «Роскосмос».

A general statement of the objective is formulated to the problem of monitoring supply with industrial technologies of aerospace industry (technology monitoring) in the management system for the advanced development of aerospace product industrial technologies. The stratification of purpose levels and research directions is shown. A system approach, a methodology for information and analytical support of technology monitoring, a model forming roadmaps in the sectoral system of advanced development of industrial technologies are proposed. The methodological requirements for the development and maintenance of the information-analytical system based on the digital knowledge base, structural and logical schemes of activities in the system of advanced industrial technologies development for the State Space Corporation Roscosmos are presented.

**Ключевые слова:** база знаний, информационно-аналитическая система, космические аппараты, мониторинг технологий, ракетно-космическая техника, стратегическое и программно-целевое планирование, научно-технологический задел, средства выведения

**Keywords:** knowledge base, information-analytical system, space vehicles, technology monitoring, aerospace equipment, strategic and program-targeted planning, scientific and technical practices, extraction facilities

Задачи мероприятий в системе опережающего развития промышленных технологий изготовления перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ) должны решаться на основе массивов информации о базовых и критических технологиях, которые составляют основу производства.

Исходя из таких задач, возникает потребность в разработке методологии и средств информационной поддержки мониторинга обеспеченности предприятий ракетно-космической промышленности (РКП) базовыми и критическими технологиями (методика, опросные формы, показатели).





В исследовании проведен анализ основных направлений мониторинга технологий предприятий РКП, на основе которого выработаны методология информационно-аналитического обеспечения мониторинга технологий и модель формирования дорожных карт в отраслевой системе опережающего развития промышленных технологий, представлены методологические требования к созданию и сопровождению информационно-аналитической системы (ИАС) на основе электронной базы знаний (БЗ), структурно-логические схемы мероприятий в системе опережающего развития промышленных технологий Госкорпорации «Роскосмос».

Данная работа актуальна, поскольку является одним из направлений системного подхода в организации современной технологии информационной поддержки в системе управления опережающим развитием промышленных технологий производства изделий РКТ.

Объектом исследования работы является мониторинг обеспеченности предприятий РКП промышленными технологиями производства космических средств (мониторинг технологий), который рассматривается как составная часть стратегического и программно-целевого планирования (СПЦП) Федеральной космической программы России на 2016–2025 годы и представляет собой совокупность мероприятий по сбору и систематизации информации о промышленных технологиях изготовления перспективных изделий РКТ (средств выведения (СВ) и космических аппаратов (КА)), ее комплексной оценке и прогнозированию по стабильной системе показателей, разрабатываемой и уточняемой с учетом специализации предприятий РКП.

Аспекты исследования включают:

- разработку методического обеспечения мониторинга и анализа информации о развитии промышленных технологий производства изделий РКТ от предприятий РКП;
- создание и применение общепромышленной ИАС как инструмент мониторинга для всех видов промышленных технологий производства изделий РКТ;

– разработку и применение регламентов информационного взаимодействия в системе управления опережающим развитием промышленных технологий производства изделий РКТ.

Целью исследования является разработка методологии и средств информационной поддержки мониторинга обеспеченности предприятий РКП промышленными базовыми и критическими технологиями (методика, опросные формы, показатели, регламенты взаимодействия).

В соответствии с поставленными целями производились взаимосвязанные мероприятия по следующим направлениям (рис. 1):

– разработка методики мониторинга, включая аспекты сбора, структуризации информации о базовых и критических технологиях на базе опросных форм, анализ информации на базе системы критериев оценки;

– разработка информационно-аналитической системы (включающей базу знаний и базу данных) РКП в части СВ и КА;

– отработка мероприятий ИАО управления опережающим развитием промышленных технологий производства изделий РКТ, в том числе:

– исследование достижений науки и техники в целях развития технологий создания изделий РКТ; прогнозные исследования и выбор направлений технологического развития; формирование дорожных карт перспективного развития промышленных технологий; исследование конструкторско-технологических особенностей перспективных СВ и КА для выявления производственно-технологических проблем; анализ заявок предприятий РКП на проведение научно-исследовательских опытно-конструкторских работ (НИОКР) (формирование технологического запроса).

Реализация мероприятий информационно-аналитического обеспечения (ИАО) управления опережающим развитием технологий проводилась в соответствии с отраслевыми документами ([1], РД 134-0152-2007). Схема системы представлена на рис. 2.





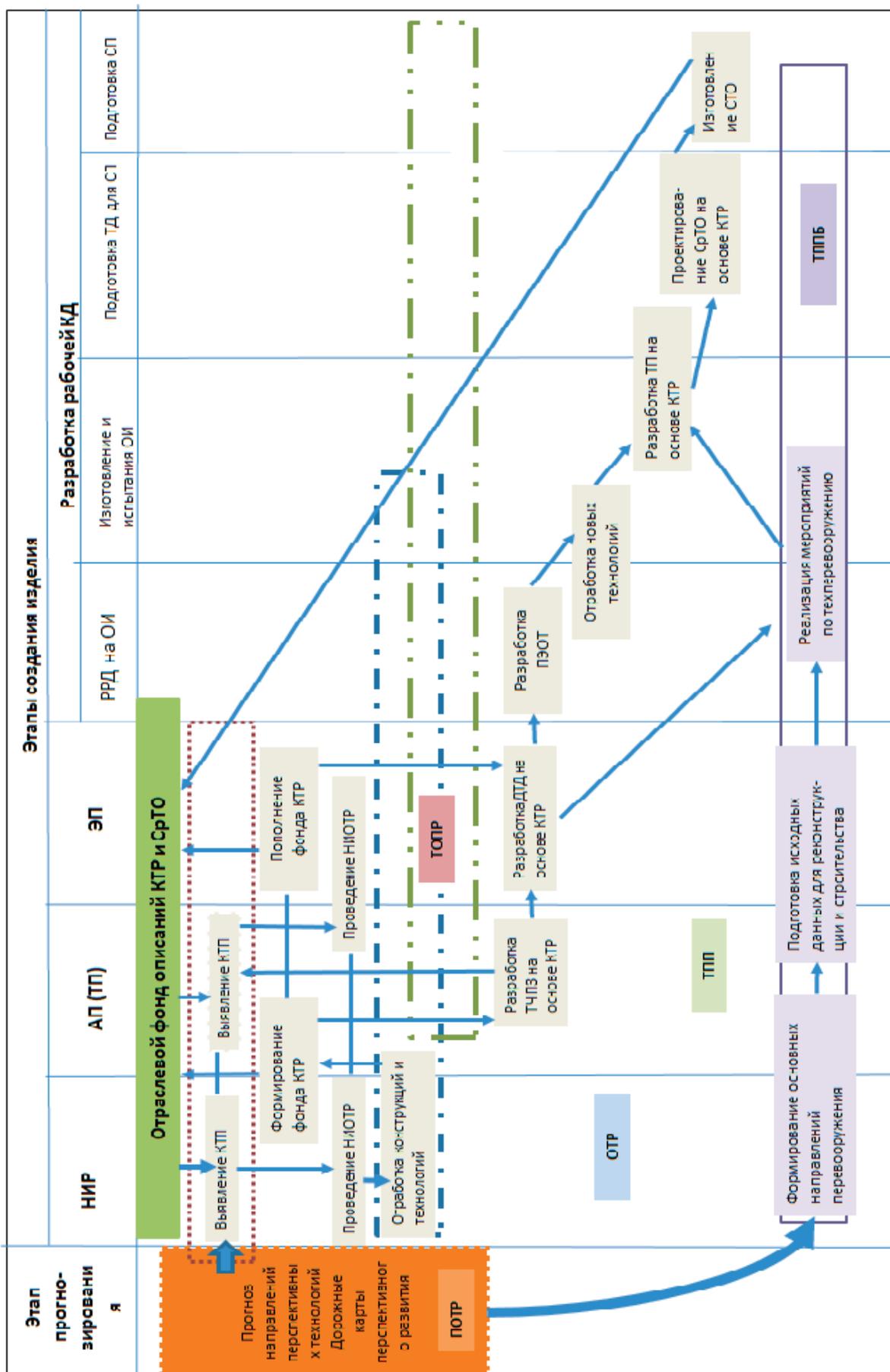


Рис. 2. Схема системы технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий РКТ

За основу организации мониторинга обеспеченности предприятий РКП базовыми и критическими технологиями взяты методические материалы, разработанные для предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) по данному вопросу, исходя из которых для однозначного понимания, введены определения базовых и критических технологий.

Под базовыми технологиями понимаются технологии, обеспечивающие возможность производства, ремонта и сервисного обслуживания изделий РКТ. Под критическими понимаются технологии, обеспечивающие возможность создания и производства перспективных образцов РКТ, а также модернизации серийных образ-

цов РКТ для получения ранее недостижимых и принципиально новых боевых, эксплуатационных и тактико-технических характеристик.

Мониторинг обеспеченности технологиями основывается на данных, полученных от предприятий, для формирования которых разработаны формы запроса в виде 12 таблиц. Главной является таблица «Паспорт технологий», где даются основные общие характеристики технологии (изделия, для которого разработана технология, ее технологический уровень, новизна, связь с межведомственным перечнем и т.д.). Остальные таблицы раскрывают специальные направления рассматриваемой технологии. Все таблицы связаны с таблицей «Паспорт технологий» (рис. 3).



Рис. 3 Формирование исходных данных

При разработке запросных форм и инструкции по их заполнению использован опыт ФГУП «НПО «Техномаш» по сбору первичной информации от предприятий в рамках проводимой ежегодной производственно-технологической паспортизации. Запросные формы содержат в себе справочники, которые обеспечивают корректность формирования исходной информации.

В методике проведения мониторинга реализованы принципы систематизации технологий и определены требования к классификации техно-

логий, каталогизации ресурсного обеспечения технологий, верификации исходных данных, организации информационного взаимодействия с внутренними и внешними системами, формированию и обработке неструктурированной информации, аналитической и синтетической обработке сформированной информации.

В рамках мероприятий ИАО управления опережающим развитием промышленных технологий сформированы дорожные карты перспективного развития технологий (рис. 4).

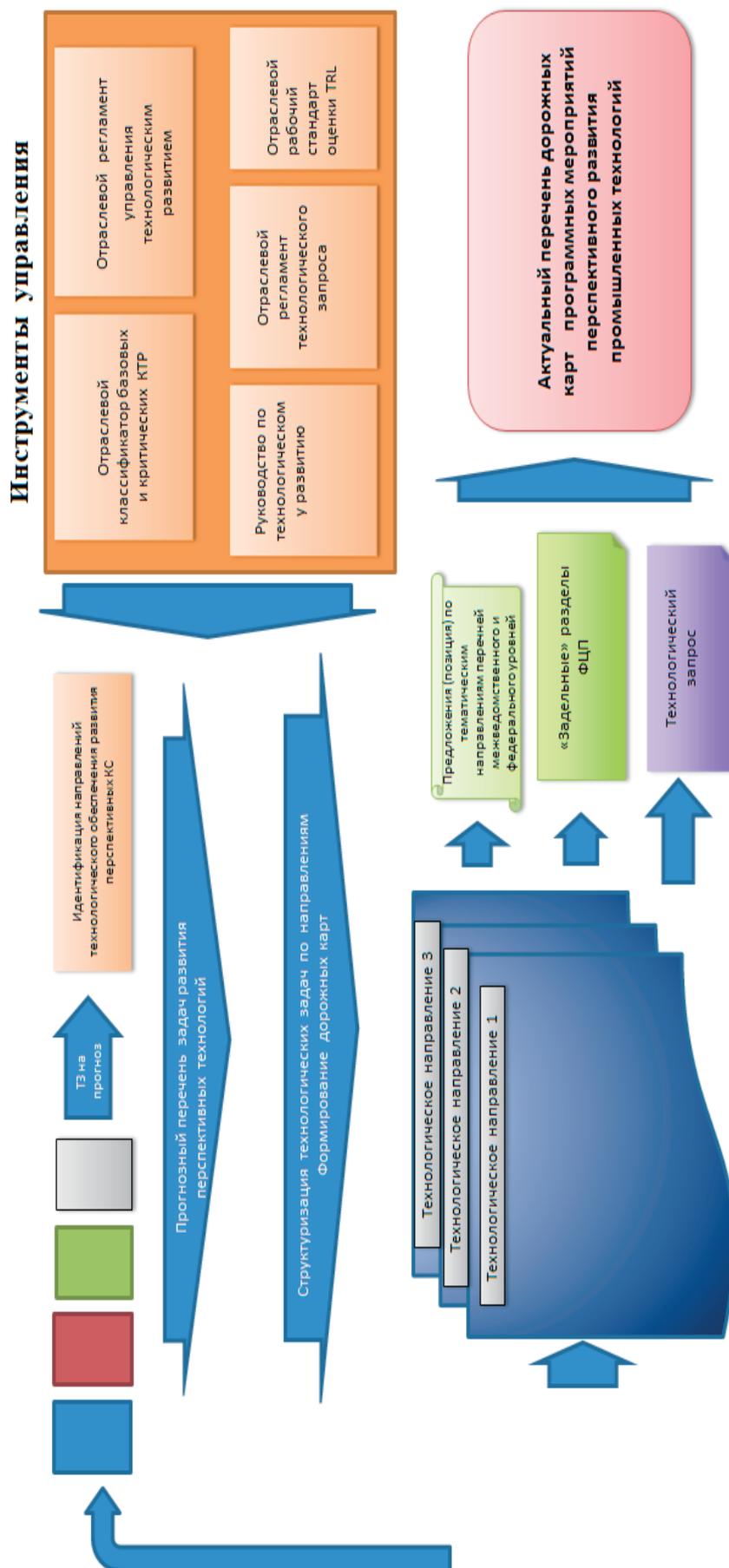


Рис.4 Модель формирования дорожных карт перспективного развития промышленных технологий

### Синтез и выбор дорожных карт технологического развития

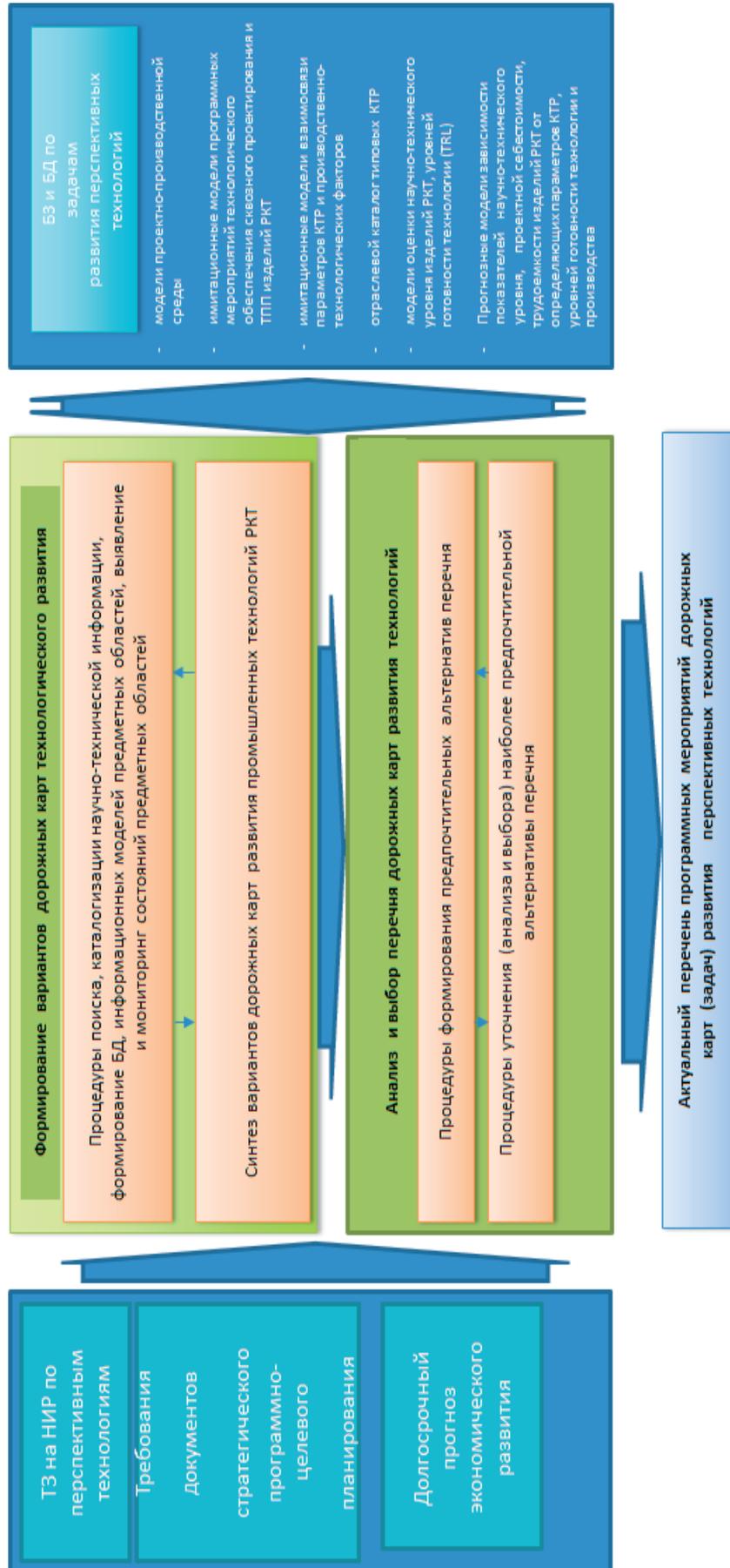


Рис. 5. Дорожные карты развития промышленных технологий

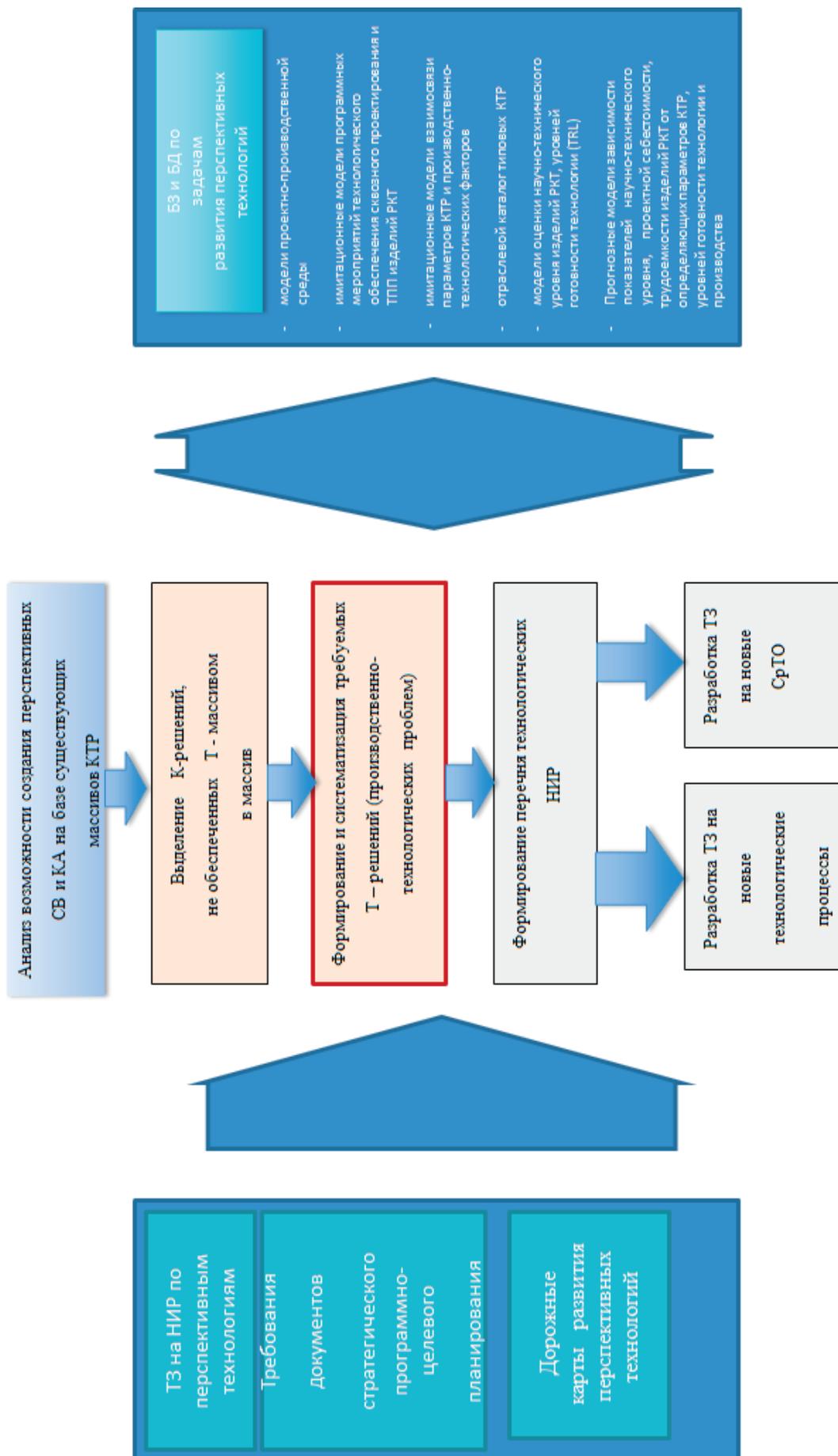


Рис. 6. Анализ производственно-технологических проблем

За основу формирования дорожных карт взяты материалы исследований достижений науки и техники в целях развития технологий создания изделий РКТ. В рамках исследований достижений науки и техники проведены мероприятия по разработке прогнозного перечня задач развития перспективных технологий и формированию перечней дорожных карт развития промышленных технологий (рис. 5).

В целях подготовки программ реализации дорожных карт проведено мероприятие по исследованию конструкторско-технологических особенностей перспективных СВ и КА для выявления производственно-технологических про-

блем (рис. 6). По итогам мероприятия разработаны перечни технологических научно-исследовательских работ (НИР), разработаны технические задания на создание новых технологических процессов и средств технологического оснащения.

Также при разработке перечней технологических НИР проведен анализ заявок предприятий РКТ на проведение НИОКР. Мероприятие проводилось в соответствии с методическими рекомендациями по разработке проекта ЕГКП. Для учета мнений профильных экспертов разработана соответствующая методика.

### Выводы

По результатам исследований ФГУП «НПО «Техномаш» может обеспечить:

- систематизацию общих требований к ИАС мониторинга мероприятий по созданию опережающего научно-технического задела в области базовых и критических технологий предприятий РКТ;

- создание системы корпоративных программно-информационных сервисов управления научно-техническим заделом в области базовых и критических технологий предприятий РКТ.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 55977-2014 Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

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

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

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

Тел.: 8(495) 689-95-26. E-mail: E.Rahmilevich@tmnp.ru  
Rakhmilevich Evgenii Georgievich – Deputy Center Director of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: 8(495) 689-95-26. E-mail: E.Rahmilevich@tmnp.ru

**Чернодод Игорь Иванович** – руководитель проекта ФГУП «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева.

Тел.: 8(495) 689-31-73. E-mail: I.Chernoded@tmnp.ru  
Chernoded Igor Ivanovich – Project Manager of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: 8(495) 689-31-73. E-mail: I.Chernoded@tmnp.ru

**Захаров Василий Антонович** – главный специалист ФГУП «НПО «Техномаш» и предприятий РКТ  
Тел.: 8(495) 689-31-73. E-mail: V.Zaharov@tmnp.ru  
Zakharov Vasilii Antonovich – Principal Specialist of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.  
Tel.: 8(495) 689-31-73. E-mail: V.Zaharov@tmnp.ru



УДК 629.7

Базарова Л.С.  
Bazarova L.S.

## Разработка технологии изготовления перспективных деталей из полуфабрикатов из алюминий-скандиевых сплавов для перспективных изделий БРТ и РКТ

### Development of technology for manufacturing advanced parts from aluminum-scandium alloy semi-finished products for advanced missile and aerospace products

Исследованы механические характеристики, возможности формоизменения и свариваемости алюминиевого сплава 1580. Полученные результаты исследования сравнивались с данными наиболее используемых в ракетно-космической промышленности алюминиевых сплавов.

The mechanical characteristics, formability and weldability of aluminum alloy 1580 have been investigated. Results of the study were compared with the data obtained from the aluminum alloys most used in aerospace industry.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав, предел текучести, предел прочности, свариваемость  
**Keywords:** aluminum alloys, ultimate strength, yield point, weldability

Для решения актуальных задач ракетно-космической техники (РКТ) в части повышения эксплуатационных характеристик (прочностных, ресурсных, коррозионных) требуется улучшение удельных прочностных характеристик конструкционных материалов.

Одним из перспективных направлений является легирование алюминиевых сплавов скандием (рис. 1). В системе Al-Mg добавка скандия в количестве до 0,3 % повышает предел текучести на 120% [1, 2]. Сдерживающим фактором для применения является высокая стоимость лигатуры Al-Sc.

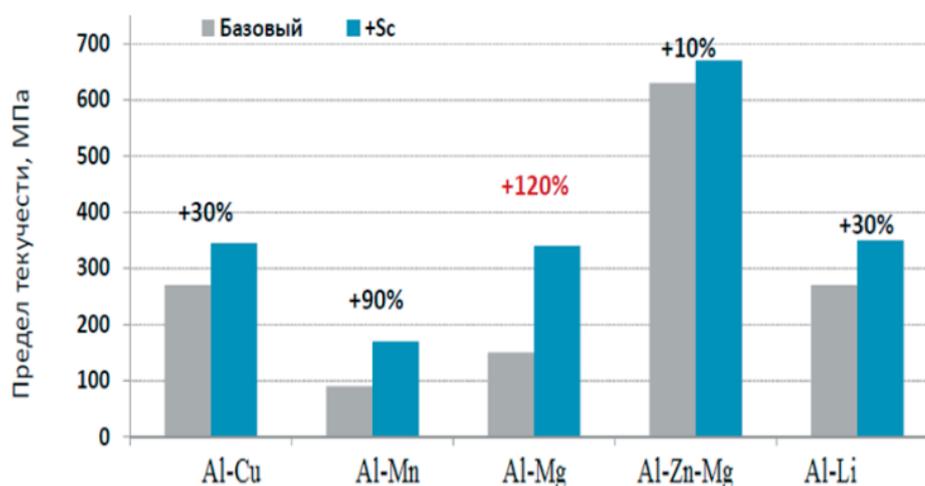


Рис. 1. Влияние малых добавок Sc на предел текучести алюминиевых сплавов

По результатам анализа научно-технической литературы предложено использовать сплав марки 1580 с пониженным содержанием скандия [3].

Для оценки целесообразности использования сплава в силовых корпусных деталях изделий АО «Корпорация «МИТ» проведена оценка технологичности деформируемых полуфабрикатов из сплава 1580. Объектами исследования стали листы толщиной 1, 2,5 и 4,5 мм, а также поковки сложнойковки  $d=530$  мм,  $h=130$  мм.

Сравнительный анализ механических характеристик листового материала показал, что сплав 1580 по прочностным характеристикам не уступает сплавам Д16, 1201 и 1420, при этом обладает высокой пластичностью и ударной вязкостью (рис. 2).

Для исследования возможностей пластического формообразования листового материала из сплава 1580 проводились испытания на вытяжку, отбортовку отверстий и гибку.

Основным показателем формоизменения при вытяжке является коэффициент вытяжки – возможность «вытянуть» деталь за один переход. Коэффициент рассчитывается как отношение диаметра после вытяжки к диаметру исходной заготовки.

При отбортовке отверстий показателем является коэффициент отбортовки – максимально возможная высота борта без введения между переходами операции отжига для снятия напряжений. Коэффициент рассчитывается как отношение диаметра отбортовки (по средней линии) к диаметру отверстия под отбортовку.

При гибке на угол  $90^\circ$  коэффициентом формообразования является минимальный радиус гибки листового материала.

По результатам испытаний на формообразование – сплав 1580 превосходит сплавы марок Д16, 1201, 1420 (рис. 3).

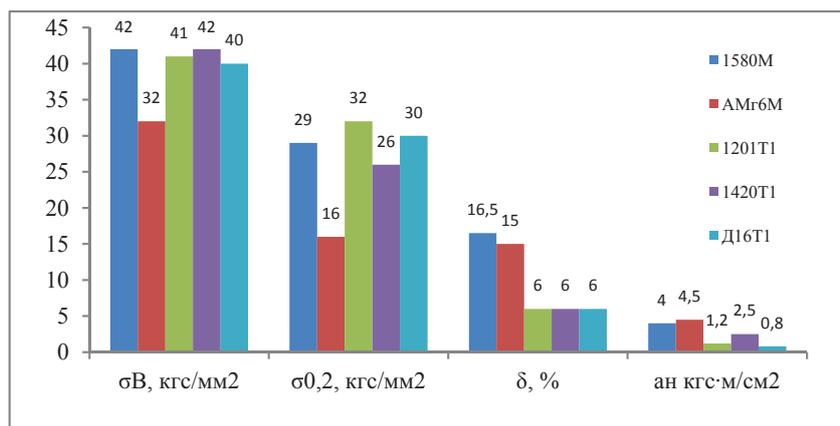


Рис. 2. Механические характеристики листового материала

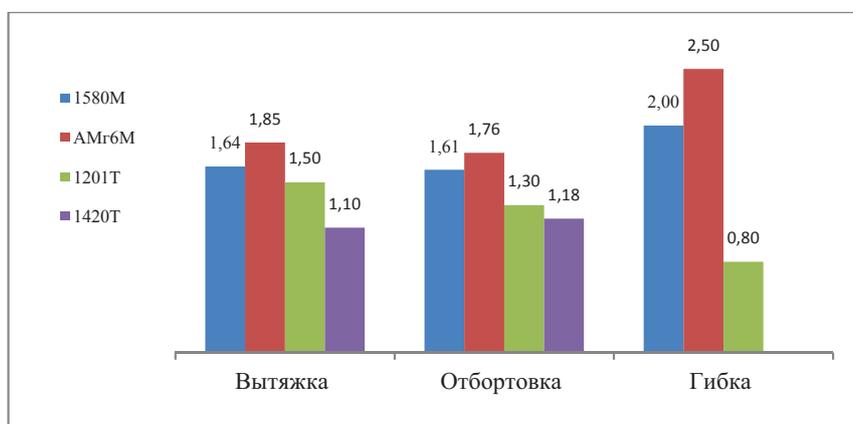


Рис. 3. Рабочие коэффициенты при пластическом формообразовании листового материала



Также в процессе отработана технология электронно-лучевой сварки (ЭЛС) и аргонодуговой сварки. Коэффициент сварного соединения для сплава 1580 составляет 0,9

как для автоматической аргонодуговой электрической сварки (ААрДЭС), так и для ЭЛС (табл. 1), что свидетельствует о его хорошей свариваемости.

**Таблица 1. Коэффициент работоспособности сварного соединения сплавов при ААрДЭС**

Марка сплава	1580	АМг6	1201	1420
$\sigma_{в,св}/\sigma_{в}$	0,9	0,9	0,6	0,8

Макроструктура сварных соединений, полученных методами ЭЛС и ААрДЭС, представлена на рис. 4а и 5а, где видно, что зона проплавления при ЭЛС в несколько раз меньше, чем при ААрДЭС. Дефектов макроструктуры в исследуемых образцах не обнаружено.

Изломы сварных образцов макропластичны, образованы срезом. Разрушение образцов произошло по околошовной зоне и по металлу шва.

В целях отработки технологии изготовления силовых деталей выбрана деталь «Корпус» (рис. 6). Выбор обусловлен высокой сложностью исполнения: резкие переходы и разнотолщинность различных поверхностей, внутренние сложные полости, отверстия различных диаметров.

Сравнение технологии изготовления детали «Корпус» из штатного сплава 1201 и сплава 1580 проводилось по следующим показателям (табл 2).

**Таблица 2. Сравнительные показатели изготовления детали «Корпус»**

Показатель	«Штатный» сплав 1201				1580			
Механическая обработка	Удовлетворительная				Удовлетворительная			
Термическая обработка	Трёхкратный стабилизационный отжиг ( $T=100^{\circ}\text{C}$ , $\tau=8$ ч)				Не требуется			
Механические свойства	Напр. вырезки	$\sigma_{в'}$ кгс/ мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ кгс/ мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Напр. вырезки	$\sigma_{в'}$ кгс/ мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ кгс/ мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
	Д	38	27	7,0	Д	40	28	23
	П	36	26	5,0	П	38,5	26	23
	В	35	-	2,5	В	38	25	16
Вес детали, кг	4,2				3,9			

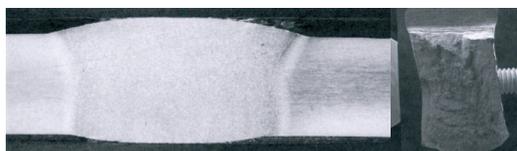


Рис. 4. Макроструктура и излом образцов, полученных ААрДЭС



Рис. 5. Макроструктура и излом образцов, полученных ЭЛС



Рис. 6. Деталь «Корпус»

Для заключения о работоспособности детали при наземной эксплуатации изделия проведены зачетные виброиспытания. Объем зачетных

вибропрочностных испытаний в составе сборочной единицы, имитирующих наземную эксплуатацию изделия, выполнен полностью.

### Выводы

1. Деформируемые полуфабрикаты из сплава 1580 обладают высокой технологичностью при механической обработке, формообразовании и сварке.

2. Изготовлена силовая деталь «Корпус» из сплава 1580. Вибропрочность детали в составе сборочной единицы при наземной эксплуатации изделия проверена и удовлетворяет требованиям норм прочности.

3. Внедрение конструкций из сплава 1580 позволит снизить массу детали и сократить трудоемкость изготовления.

4. В перспективе при увеличении объемов потребления ожидается заметное снижение стоимости полуфабрикатов из сплава 1580, что позволит снизить стоимость детали.

### Библиографический список

1. Авиационные материалы: Справочник в 12 томах. – М.: ВИАМ, 2008. – 263 с.
2. Добаткин В.И., Дриц М.Е., Топорова Л.С. и др. Основные принципы легирования скандием алюминия и его сплавов // Избранные труды В.И. Добаткина. – М.: ВИЛС, 2001. – С. 306–316.
3. Беляев С.В. Исследование структуры и свойств новых алюминиевых сплавов, легированных скандием // Сборник тезисов докладов VIII международного конгресса Цветные металлы и минералы – 2016. – 2016. – С. 224–225.

**Базарова Лариса Сергеевна** – инженер-технолог 1 категории АО «Корпорация «МИТ».

Тел.: 8(499) 907-37-74. E-mail: info@corp-mit.ru

Bazarova Larisa Sergeevna – Category 1 Process Engineer of JSC «Corporation «MIT».

Tel.: 8(499) 907-37-74. E-mail: info@corp-mit.ru



УДК 628.5

*Кирьянов И.Е.*  
*Kirianov I.E.*

## Современное состояние лабораторно-исследовательской базы АО «Корпорация «МИТ» и необходимость актуализации применяемой нормативной документации

### Current state of the laboratory and research base of JSC «Corporation «MIT» and the need to update the applicable regulatory documents

Представлены направления деятельности предприятия в области исследования разрушений материалов. Приведены методы исследования, в том числе для деталей, получаемых аддитивными технологиями. Обозначены проблемы исследований, связанных с необходимостью выпуска научно-технической документации, отражающей современное состояние применяемых средств контроля.

The enterprise's activities directions in the area of materials fracture research are presented. Research methods including for parts produced by additive technologies are given. The research issues associated with the need to release scientific and technical documentation, reflecting the current state of the controls in use, are outlined.

**Ключевые слова:** разрушение материала, структура материала, механические характеристики, химический состав, микроскоп, рентгенография, ультразвуковой контроль

**Keywords:** material damage, material structure, mechanical behavior, chemical composition, microscope, X-ray diffraction, ultrasonic inspection

Начиная с 2014 года, в рамках программы технического перевооружения практически полностью переоснащен отдел анализа и исследования материалов АО «Корпорация «МИТ». На предприятие поставлено уникальное исследовательское оборудование – растровый электронный микроскоп, оптические микроскопы с возможностью электронной обработки изображений специальным программным обеспечением (SIAMS), рентгеновский томограф, атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой, новые испытательные машины и т.д.

Внедрение современного цифрового оборудования позволило значительно упростить труд работников, повысить объективность результатов, и по совокупности проводимых работ расширить возможности в проведении исследований материалов и материальной части. В некоторых областях (таких как неразрушающий

контроль) сложилась ситуация, когда возможности современного оборудования опережают соответствующую нормативно-техническую документацию (НТД).

Основные задачи отдела анализа и исследования материалов:

– исследования и контроль материальной части при отработке опытных конструкций и технологий их изготовления;

– определение характера и возможных причин разрушения материальной части при нерасчетной работе изделий, разрушении при изготовлении;

– определительные испытания при входном контроле материалов, используемых при изготовлении материальной части, и перепроверка их по истечении гарантийных сроков.

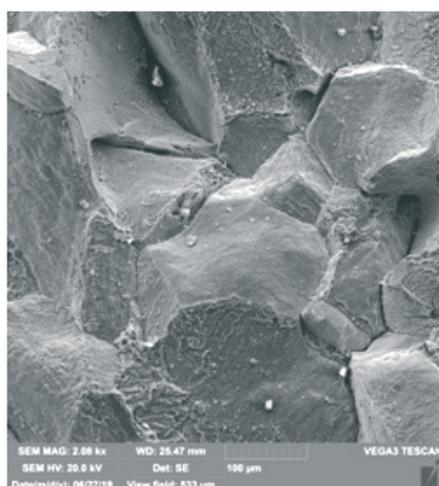
Типовое исследование, например после испытаний до разрушения (рис. 1), включает в себя опи-

сание внешнего вида, определение места начала разрушения и его характера по виду излома, описание структуры материала, определение механических характеристик в недеформированной части, подтверждение химического состава, неразрушающий контроль (возможен до и после испытаний).

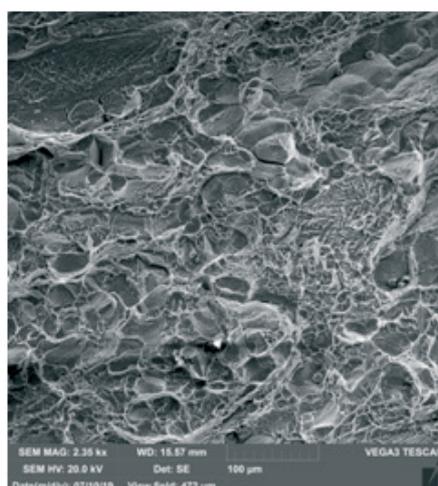
На рис. 2 представлены изображения участков излома материальной части при увеличении 2000X, полученные с растрового электронного микроскопа, которые позволяют сделать заключение о механизме разрушения материальной части. Приставка для микроанализа дает дополнительную возможность анализировать химический состав по исследуемой поверхности и выявлять в изломах, например, неметаллические включения (рис. 3).



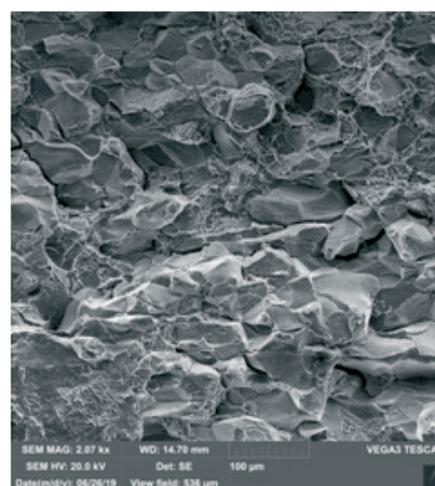
Рис.1. Типовой вид испытаний



а)

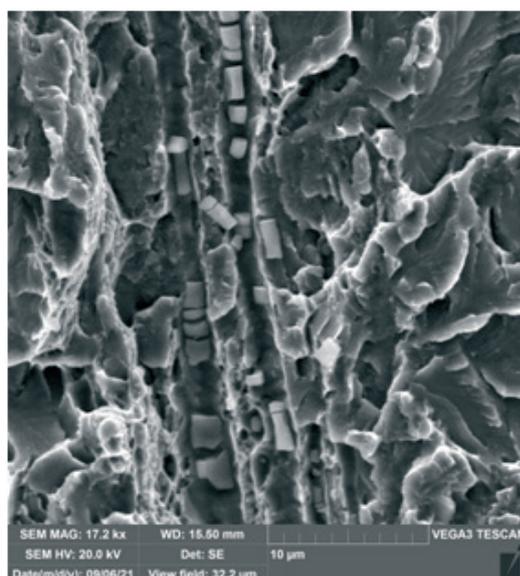


б)



в)

Рис.2. Разные участки излома



а)



б)

Рис.3. Неметаллические включения в изломе, результат микроанализа

На рис. 4 представлен результат томографии электромагнитного клапана. Метод позволяет просвечивать образцы металлических и неметаллических материалов, применяемых в изделиях, а также отдельные детали и узлы опытных конструкций. Обеспечивает однозначное определение местоположения дефектов и пространственное расположение внутренних элементов деталей и сборочных единиц (что позволяет определить качество сборки неразъемных узлов). Также в отделе применяется рентгенотелевизионная установка с плоскопанельным детектором, реализующая классический вариант радиационного контроля.

В последнее время на предприятии проводится достаточно большой объем исследований материалов, получаемых по аддитивным технологиям. Возможно проведение анализа исходных порошков в части фрактометрического состава на лазерном анализаторе размеров частиц,

химического состава на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой, газонасыщенности на анализаторе кислорода азота и водорода, физических характеристик порошков и внешнего вида гранул (рис. 5). Напечатанные образцы и заготовки проверяются на предмет наличия дефектов методом радиационной томографии, определяется величина внутренней пористости.

На рис. 6 представлен пример результатов томографии пяти образцов, полученных методом 3D-печати. В выбранном положении секущей плоскости хорошо видно наличие зоны несплавления в одном из образцов. Метод томографии позволяет также определять величину внутренней пористости во всем материале в отличие от метода металлографии, где оцениваются плоскости шлифа. В целом метод томографии показал себя наиболее информативным для контроля подобных материалов.

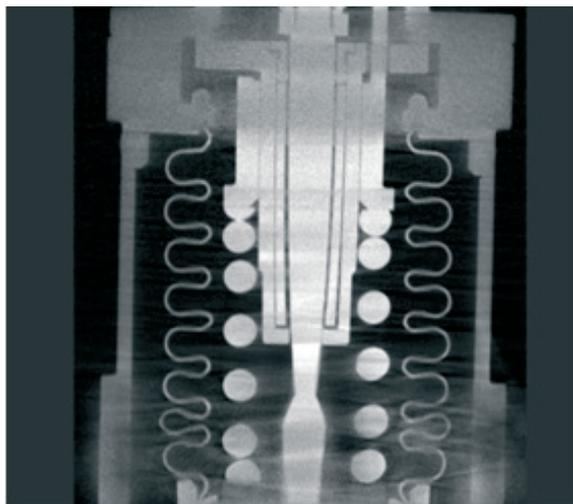


Рис. 4. Результат томографии клапана

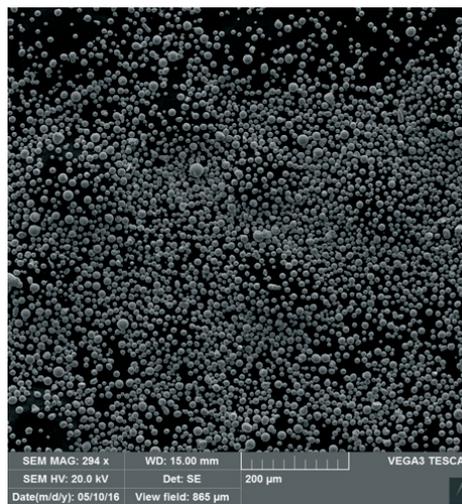
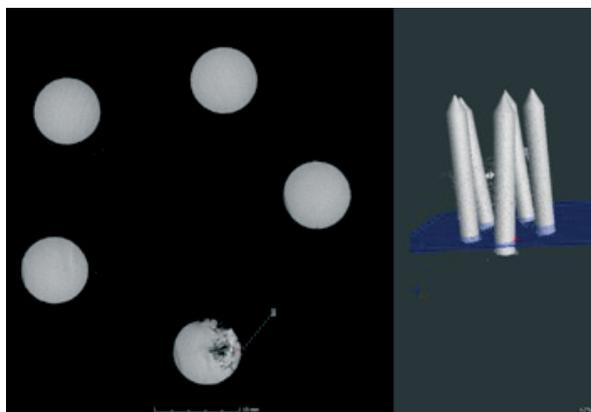
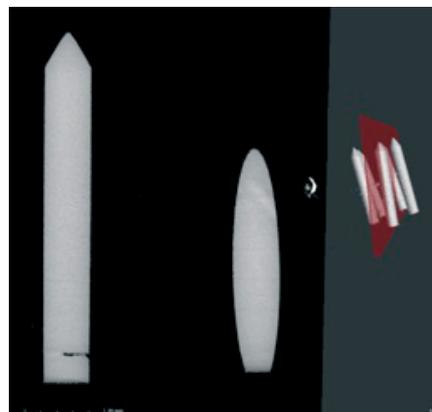


Рис.5. Исходный порошок для 3D-принтера



а)



б)

Рис. 6. Результаты томографии образцов

Механические характеристики исследуются на стандартных образцах. Проводится анализ структуры полученных изломов, механизмов разрушения материала. На рис. 7 представлен вид излома с внутренними полостями и нерасплавленными гранулами. Стоит отметить, что такие заполненные гранулами пустоты, даже при их ощутимых размерах, можно не зафиксировать радиационными методами.

Если для исходного порошка есть методы исследований из области порошковой металлургии, а также нормативные данные в сертификатах на материал, на соответствие которым можно проводить, например, входной контроль, то относительно полученного материала в настоящее время нет сложившейся терминологии, классификации дефектов, описания структур. А материалы, полученные методом аддитивных технологий, по опыту проведения исследований обладают рядом особенностей, такими как существенное отличие структуры от классических материалов, возможно наличие пор (полостей), заполненных нерасплавленным порошком, включения инородных частиц, возможно наличие зон несплавления, обусловленных нарушениями технологических режимов построения, несовершенством цифровой модели, воспроизводимое впоследствии принтером. При проведении исследований приходится пользоваться

терминологией, применяемой для классических материалов (литья, поковок, штамповок...) или вводить собственные термины (чешуйчатость), что допустимо при проведении исследовательских работ, но при переходе к серийному применению материалов потребует точных определенных терминов и норм.

То же самое касается используемых методов контроля. Все методики разработаны для классических материалов, но вполне применимы и для полученных методом селективного сплавления при условии соответствующего нормирования определяемых характеристик.

В настоящее время для применения в экспериментальных целях заготовок, полученных методом селективного сплавления, выпускаются соответствующие технические условия на материалы, например ТУ 24.10.14-894-56897835-2020 «Материал, синтезированный по технологии селективного лазерного сплавления из стали марки 12Х18Н10Т», в котором есть требования по контролю качества синтезированного материала, в частности контроль пористости по микрофотографиям сравнения [1] (т.е. вольфрамовые сплавы, порошковый, спеченный материал). Это вызвано отсутствием необходимой документации на подобные материалы.

Следующий вопрос – проведение операций неразрушающего контроля теплозащитных

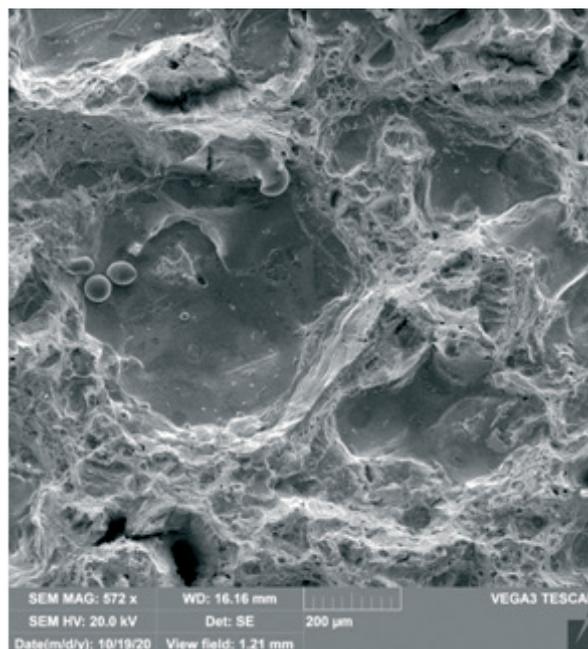


Рис. 7. Вид излома разрывного образца после механических испытаний



покрытий изделий. Преимущественно это контроль методами ультразвуковой дефектоскопии высоко и низкочастотными дефектоскопами. За последние 20 лет сменилось несколько поколений приборов контроля, и если физические основы методов остались те же, то в плане их реализации и обработки полученной информации современное оборудование обладает гораздо большими возможностями. Порядок проведения до сих пор регламентируют ОСТ 3-1762 «Покрытия теплозащитные. Методы производственного контроля», внедренный в 1974 г. (последняя корректировка в 2005 г.) и ОСТ 3-5145 «Изделия из полимерных конструкционных материалов. Методы дефектоскопии», внедренный в 1992 г. Указанные стандарты в настоящее время не отра-

жают всех возможностей современных средств неразрушающего контроля, что не позволяет использовать последние в полной мере. В первую очередь имеются в виду возможности цифровой обработки и хранения информации.

В области радиационного контроля работа по переизданию нормативных документов находится в лучшем состоянии – постепенно выходят НТД, отражающие возможность применения современных способов регистрации изображений. Так, например, с января 2022 г. вводится стандарт Корпорации СТО ГК Роскосмос 1030–2021 «Контроль неразрушающий. Радиография компьютерная. Порядок применения». Но в области промышленной томографии НТД пока отсутствуют.

### Выводы

1. На сегодняшний день в совокупности применяемых методов АО «Корпорация «МИТ» обладает широкими возможностями в проведении исследований материалов и материальной части как для решения собственных задач, так и в интересах предприятий кооперации.

2. Необходимо продолжить выпуск НТД,

отражающей современное состояние применяемых средств контроля.

3. Необходимо обеспечить своевременный выпуск отраслевой нормативной документации на внедряемые перспективные материалы (в том числе по аддитивным технологиям), которые устанавливают единые критерии и правила оценки их качества.

### Библиографический список

1. ГОСТ 9391–80 Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 30 с.

**Кириянов Илья Евгеньевич** – начальник отдела АО «Корпорация «МИТ».

Тел.: 8(499) 907-37-74. E-mail: info@corp-mit.ru

Kiryanov Ilya Evgenevich – Department Head of JSC «Corporation «MIT».

Tel.: 8(499) 907-37-74. E-mail: info@corp-mit.ru



УДК 658.5:004

*Воронежский Е.В., Максимов О.В.*  
*Voronezhskii E.V., Maksimov O.V.*

## Внедрение интерактивных электронных технических руководств в производственные процессы АО «НПО Энергомаш»

### Implementation of interactive digital technical manuals in the manufacturing processes of JSC «NPO Energomash»

Указана необходимость внедрения интерактивных электронных технических руководств в сборочные процессы и приведены принципы их внедрения в производство. Внедрение позволит снизить зависимость производства от опыта исполнителя, повысить качество выпускаемой продукции и сократить сроки обучения вновь принятых на работу исполнителей.

The necessity of implementing interactive digital technical manuals in the assembly processes is indicated and the principles of their implementation in manufacturing are given. Implementation will reduce the dependence of production on the contractor's experience, improve the quality of products and reduce the training period for newly hired contractors.

**Ключевые слова:** интерактивное электронное техническое руководство, моделирование, сборка, цифровая сборка, интерактивная инструкция

**Keywords:** interactive digital technical manual, simulation, assembly, digital assembly, interactive manual

В целях повышения качества выпускаемой продукции, снижения зависимости от опыта исполнителей работ, а также сокращения сроков вовлечения в производственные процессы АО «НПО Энергомаш», инициирован проект по внедрению в сборочные технологические процессы интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР).

ИЭТР – это совокупность электронных документов, технических данных и программно-технических средств, предназначенная для информационного обеспечения процессов изготовления (сборки) продукции и предоставляющая пользователям возможность прямой и обратной связи между пользователем и руководством в режиме реального времени с помощью интерфейса электронной системы отображения (рис. 1).

Предпосылки к внедрению ИЭТР:

1. Реализация мероприятий по повышению качества выпускаемой продукции – применение ИЭТР при сборочных операциях обеспечивает задействование дополнительного визуального восприятия у слесаря-сборщика.

2. Реализация мероприятий по передаче опыта – ИЭТР наглядно и детально отражает все нюансы выполнения технологии сборочных операций, что обеспечивает ускоренное вовлечение в рабочий процесс вновь принятых на работу.



Рис. 1. Работа слесаря-сборщика с ИЭТР



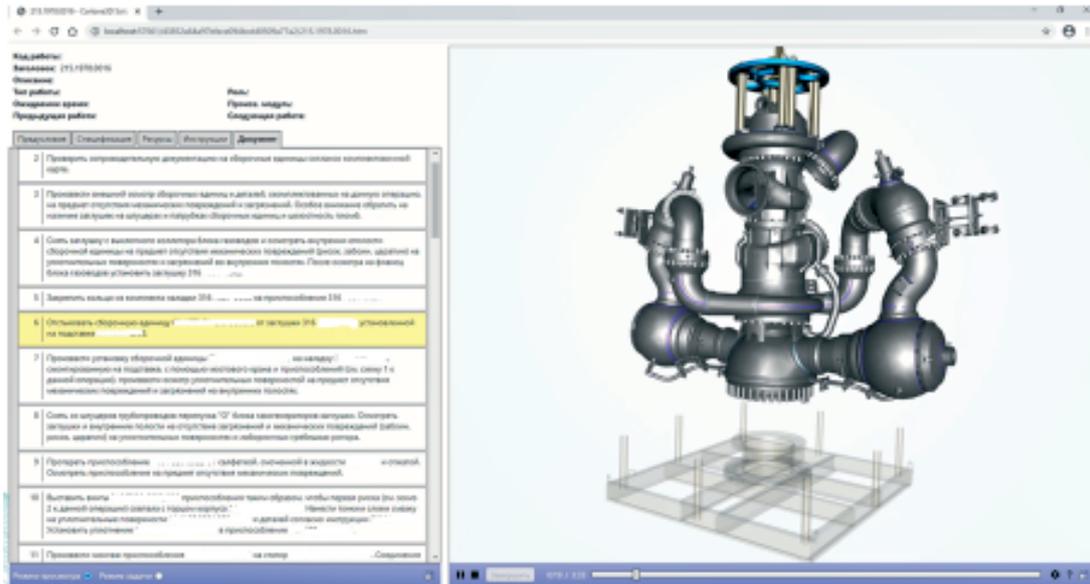


Рис. 2. Отображение ИЭТР на рабочем месте слесаря-сборщика

Специалистами управления поддержки жизненного цикла изделия с участием управления главного технолога отработан и внедрён функционал по разработке ИЭТР в специализированной системе с использованием данных (3D-модели деталей сборочных единиц (ДСЕ) и средств технологического оснащения (СТО)) из PLM-системы предприятия и последующим хранением ИЭТР в PLM-системе предприятия. Реализован пилотный проект по разработке ИЭТР на примере одного из жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) в цехах изготовления пуско-отсечной автоматики и турбонасосных агрегатов. Для обеспечения разработки ИЭТР специалисты конструкторского бюро (КБ) предприятия разрабатывают электронную конструкторскую документацию (ЭКД) на ДСЕ, специалисты КБ управления главного технолога разрабатывают ЭКД на СТО. Разработанная ЭКД в виде 3D моделей хранится в PLM-системе предприятия и используется инженерами-технологами при разработке ИЭТР для визуализации сборочных операций посредством формирования интерактивного контента.

Разрабатываемые ИЭТР являются частью электронной технологической документации и позволяют обеспечить максимально эффективное донесение технологического процесса до

непосредственного исполнителя работ. Общий вид ИЭТР представлен на рис.2, где в левой части отображается описательная часть операций/переходов, а в правой части – визуализация выполнения данных операций/переходов с применением анимированной ЭКД, ДСЕ, ЖРД и СТО.

Для обеспечения успешного внедрения ИЭТР в производственные процессы предприятия работы разбиты на два этапа:

- утверждение ИЭТР;
- внедрение ИЭТР.

В целях отражения в ИЭТР всей необходимой для качественного выполнения сборочных технологических операций информации разработан механизм утверждения и внедрения ИЭТР в производственные процессы с учётом задействования в работах служб и специалистов, участвующих в соответствующих производственных процессах (рис.3).

Документами, подтверждающими утверждение и внедрение ИЭТР, являются соответствующие акты, подписанные главным технологом, инженером-технологом, слесарем-сборщиком, мастером, начальником бюро технического контроля и утверждённые начальником цеха. Внедрение ИЭТР осуществляется путём выполнения сборочных технологиче-

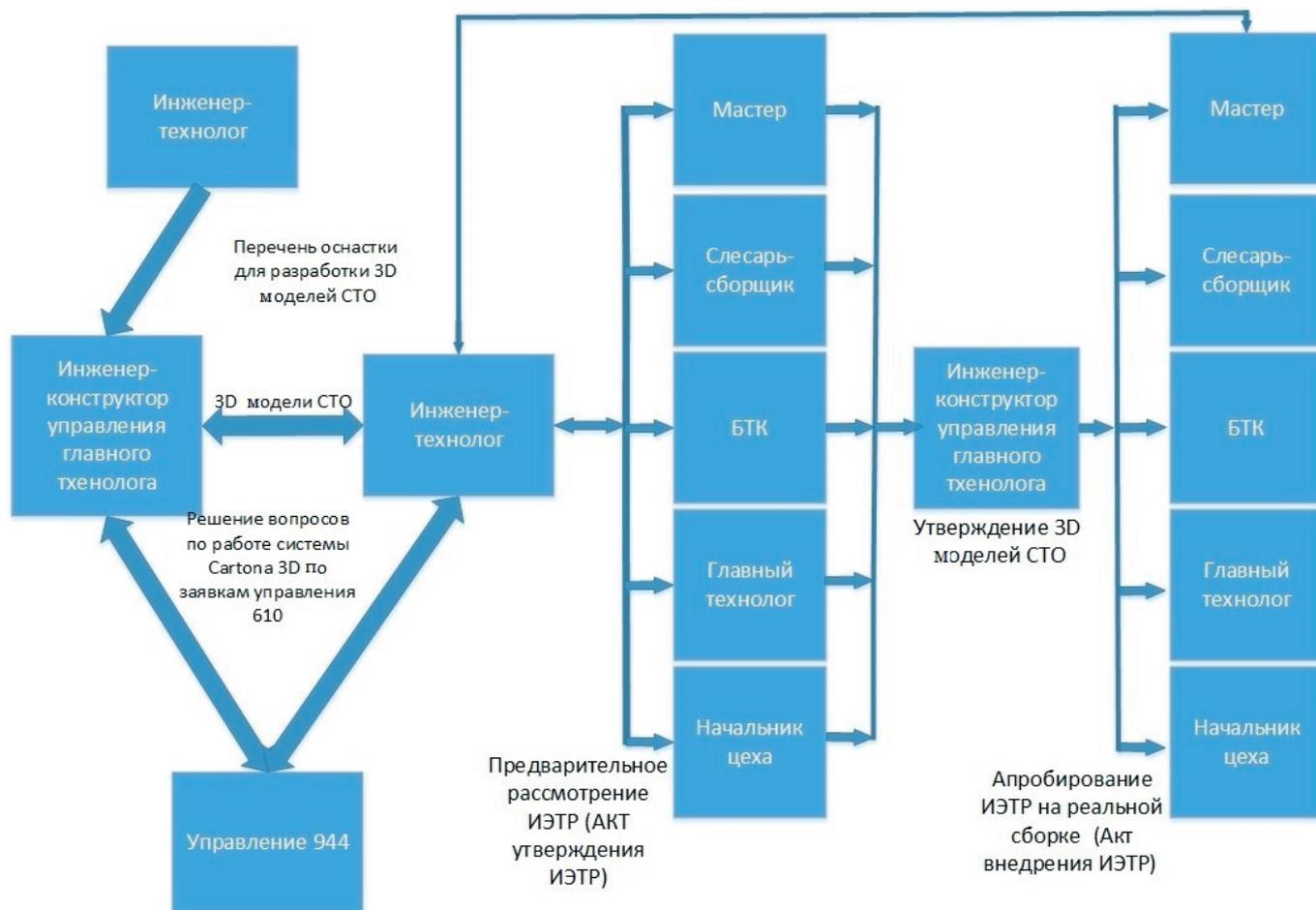


Рис. 3. Маршрут утверждения и внедрения ИЭТР

ских операций с применением электронных руководств.

По результатам утверждения ИЭТР присваивается уникальный номер; ИЭТР и акт утверждения размещаются в PLM-системе предприятия. В технологическом процессе технолог отражает уникальный номер ИЭТР, по которому следует выполнять ту или иную операцию. При выполнении технологической операции сборки исполнитель работ открывает из PLM-системы предприятия соответствующее ИЭТР и использует его в качестве технологической документации.

В перспективе на предприятии планируется внедрение системы контроля технологических операций сборки (СКТОС), которая будет использовать разработанные ИЭТР в качестве исходной информации (рис. 4).

Предполагаемый функционал СКТОС:

– разметка рабочей зоны;

– контроль комплектации технологических операций;

– доведение технологического процесса и необходимой документации до исполнителя работ;

– онлайн-контроль за выполнением сборочных операций, в том числе с использованием «умного» инструмента;

– закрытие технологических операций.

Ожидаемые эффекты от внедрения СКТОС:

– снижение зависимости производства от опыта исполнителя;

– повышение качества выпускаемой продукции;

– сокращение сроков обучения вновь принятых на работу исполнителей;

– исключение затрат на дополнительные работы;

– обеспечение изготовления продукции в сроки, установленные контрактами.



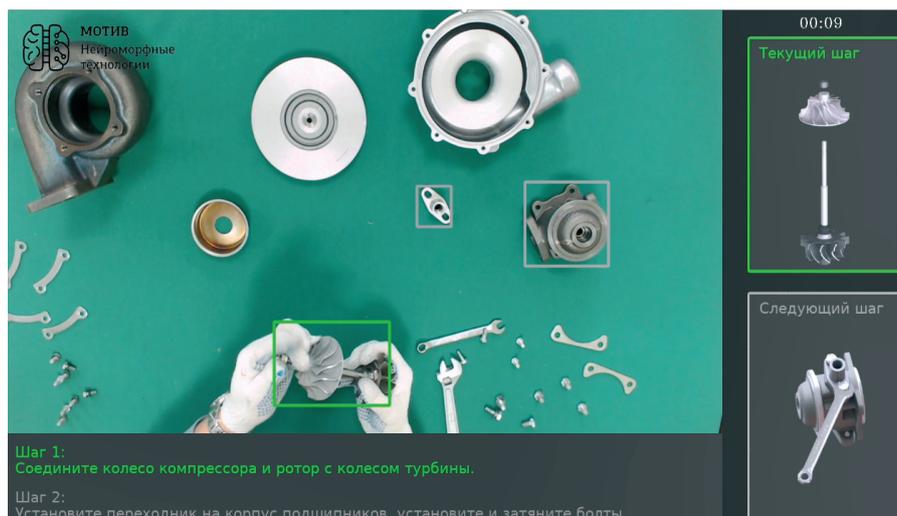


Рис. 4. Прототип СКТОС

В данном направлении ведутся работы с Фондом перспективных исследований. Пред-

приятие участвует в проекте в качестве пилотной площадки.

**Воронежский Евгений Валерьевич** – главный технолог АО «НПО Энергомаш».

Тел.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: [energo@npoem.ru](mailto:energo@npoem.ru)  
Voronezhskii Evgenii Valerevich – Chief Technologist of JSC «NPO Energomash»

Tel.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: [energo@npoem.ru](mailto:energo@npoem.ru)

**Максимов Олег Вячеславович** – заместитель главного технолога по развитию производства АО «НПО Энергомаш».

Тел.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: [energo@npoem.ru](mailto:energo@npoem.ru)  
Maksimov Oleg Viacheslavovich – Deputy Chief Technologist for production development of JSC «NPO Energomash».

Tel.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: [energo@npoem.ru](mailto:energo@npoem.ru)

УДК 629.7:004

*Воронежский Е.В., Максимов О.В., Бреев Е.Ю.  
Voronezhskii E.V., Maksimov O.V., Breev E.Iu.*

## Применение цифровых технологий для изготовления трубопроводов обвязки ЖРД

### Application of digital technologies for LPRE pipelines manufacturing

Описаны задачи проекта по внедрению перспективных методов изготовления трубопроводов обвязки жидкостного ракетного двигателя. Применение сквозной цифровой технологии изготовления трубопроводов по электронным моделям позволило обеспечить автоматизацию процесса за счёт применения технологий 3D моделирования и специализированного технологического оборудования, что позволило повысить качество выпускаемой продукции и снизить трудоёмкость изготовления трубопроводов до 20%.

The project objectives on implementation of advanced methods for manufacturing pipelines of liquid propellant rocket engine piping are described. Application of end-to-end digital technology for pipeline production based on electronic models allowed for process automation due to applying 3D modeling

technologies and specialized technological equipment, which improved product quality and reduced labor intensity of pipeline production by up to 20%.

**Ключевые слова:** трубопровод, гибка трубы, гибка с числовым программным управлением, цифровая сборка

**Keywords:** pipeline, tube bending, numerically controlled bending, digital assembly

Трубопроводы обвязки жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) являются одними из особо ответственных составляющих пневмогидравлической системы. К изготовлению трубопроводов предъявляется ряд требований, обеспечивающих герметичность, чистоту внутренних полостей, необходимую прочность в условиях работы ЖРД, коррозионную стойкость, а также технологичность конструкции, позволяющую изготавливать трубопроводы с минимальной себестоимостью изготовления.

На сегодня большинство предприятий ракетно-космической промышленности (РКП) используют метод эталонирования для изготовления трубопроводов обвязки ЖРД. В качестве эталонов для изготовления и приёмки трубопровода используются эталонный трубопровод и соответствующий шаблон. При проектировании изделий инженеры-конструкторы работают с физическими образцами, примеряя их на макете изделия, а по результатам примерки вносят в случае необходимости корректировки в конструкторскую документацию (КД). Изготовление трубопроводов с таким подходом требует организации участка для хранения эталонов, проведения работ по проверке и ремонту эталонов и шаблонов, что не обеспечивает сокращения циклов разработки и постановки на производство перспективных ЖРД, а также не соответствует современным мировым тенденциям по внедрению цифровых технологий в производственные процессы.

Учитывая политику АО «НПО Энергомаш» в направлении повышения качества выпускаемой продукции, сокращения циклов разработки и постановки на производство перспективных ЖРД при сокращении затрат, принято техническое решение о переходе предприятия на перспективные технологии изготовления трубопроводов обвязки ЖРД.

Предпосылки для реализации проекта:

– отсутствие КД на трубопроводы, отражающей конфигурацию геометрических характеристик;

– изготовление трубопроводов по шаблонам и эталонам;

– необходимость хранения большого количества оснастки для изготовления трубопроводов (шаблонов и эталонов трубопроводов, около 900 ед.);

– потребность в снижении трудоёмкости изготовления деталей сборочных единиц (ДСЕ);

– потребность в точных конструкторских 3D моделях двигателей с учётом обвязки для решения компоновочных задач;

– необходимость в контроле изготовления ДСЕ на протяжении производственного цикла изготовления (цифровой двойник).

В рамках проектных мероприятий рабочей группой с участием независимых экспертов на предприятии проведен технический аудит производственного участка изготовления трубопроводов. По результатам аудита сделаны следующие выводы:

– оборудование, применяемое для изготовления трубопроводов, имеет моральный и физический износ;

– большая номенклатура трубопроводов изготавливается вручную, с высокой трудоёмкостью подгибочных и слесарных работ;

– операции сборки сварных трубопроводов выполняются на большом количестве ступельной оснастки с высокой трудоёмкостью.

Цель проекта – повышение качества выпускаемой продукции за счёт внедрения сквозной цифровой технологии изготовления трубопроводов по электронным моделям с применением современного прогрессивного оборудования.

Задачи проекта:

– освоить изготовление трубопроводов по сквозной цифровой технологии на новом оборудовании;

– отказаться от применения физических шаблонов и эталонных образцов, внедрить технологию с цифровым эталоном;



- создать нормативную базу и конструкторско-технологическую документацию (КД и ТД) для работы по новой технологии;

- перевод всей возможной номенклатуры трубопроводов на машинную гибку;

- сократить долю ручного труда.

Для решения указанных задач принято решение по внедрению перспективных методов изготовления трубопроводов обвязки ЖРД,

обеспечивающих автоматизацию процесса изготовления за счёт применения технологий 3D моделирования и специализированного технологического оборудования. Данные методы позволяют существенно сократить цикл «подготовка производства – изготовление трубопроводов» обвязки ЖРД. Ниже приведено сравнение традиционной и перспективной технологии.

### **Традиционный маршрут «технологическая подготовка – изготовление трубопроводов» технологии, использующей эталонные образцы и шаблоны**

Из проволоки изготавливается шаблон (трасса), по которому изготавливается макетная труба. К макетной трубе прихватываются сваркой концевые элементы, после чего выполняется примерка макета на двигателе, ориентация концевых элементов с учётом расположения ответных интерфейсов и их окончательная сварка с трубой. Далее по макетному трубопроводу изготавливается

шаблон. Шаблон используется для изготовления и контроля трубопровода. По результатам сборки трубопровода его примеряют на макете и в случае необходимости выполняют подгибку по месту. После примерки трубопровода на макете он окончательно сваривается, места сварки зачищаются, трубопровод проходит испытания и контроль на соответствие требованиям КД и ТД.

### **Альтернативный маршрут «технологическая подготовка – изготовление трубопроводов» технологии с применением цифровых технологий**

Специалисты КБ разрабатывают 3D модель (в случае перевода на технологию трубопроводов действующих изделий может быть применён реверсивный инжиниринг), используемую для разработки управляющей программы гибочного станка с числовым программным управлением (ЧПУ). По разработанной программе гнётся трубная заготовка. С применением конструкторской 3D модели инженер-технолог разрабатывает карту сборки трубопровода, используемую для сборки трубопровода на универсальном-

сборном приспособлении (УСП), где концевые элементы прихватываются сваркой. Далее трубопровод окончательно сваривается, проходит испытание и контроль на соответствие требованиям КД и ТД с применением контрольно-измерительных машин.

Рассмотрим детально отличие двух технологий изготовления трубопроводов – изготовление с применением эталонов и изготовление по 3D моделям в разрезе звеньев цикла «технологическая подготовка – изготовление трубопровода».

### **Разработка КД**

При изготовлении трубопроводов с применением цифровых технологий разрабатывается цифровая электронная конструкторская документация (ЭКД) как на трубопровод (рис. 1), так и на трубную заготовку. При изготовлении трубопроводов с применением эталонов разрабатывается плоская КД только на трубопровод. Применение 3D моделирования позволяет сократить цикл разработки КД, сократить затраты на изготовление опытных образцов трубопроводов, шаблонов и эталонов, а также исключить потребность в организации участка складирования эталонов.



Рис. 1. ЭКД на трубопровод

## Изготовление трубы

По традиционной технологии 66% труб для трубопроводов обвязки ЖРД изготавливалось с применением ручной гибки, что накладывает определённые риски, связанные с человеческим фактором, а также является трудозатратным методом изготовления трубы. Часть труб изготавливалась на станке с ЧПУ захлаживанием трубопровода для обеспечения отсутствия гофры в зонегиба.

По результатам внедрения технологии изготовления трубы по 3D моделям на современном станке с ЧПУ более 90% ручных операций гибки переведены на станок с ЧПУ (рис. 2), что снизило влияние человеческого фактора на производственный процесс, повысило качество выпускаемой продукции при снижении затрат на изготовление. За счёт применения гибки на станке с ЧПУ с применением дорна снизилось количество трубопроводов, изготавливаемых на станке с ЧПУ с захлаживанием. Возможность симуляции процесса гибки трубной за-

готовки в специализированном программном обеспечении, а также на стойке гибочного станка с ЧПУ позволяет снизить затраты на отработку технологии гибки. Комплексное решение применения автоматизации производства труб с выстраиванием эффективного планирования производства обеспечивает снижение трудоёмкости изготовления номенклатуры труб для трубопроводов обвязки ЖРД до 20%.



Рис. 2. Многоуровневый трубогибочный станок с ЧПУ

## Сборка трубопровода

Для обеспечения сборки трубопровода по традиционной технологии слесарь-сборщик применяет необходимый шаблон, устанавливает в него трубы, концевые элементы, обеспечивает необходимый для сварки зазор между свариваемыми деталями посредством подрезки трубы. Далее выполняется прихватка концевых элементов в шаблоне, извлечение трубопровода из шаблона с последующей сваркой и контролем на отсутствие поводки после сварки посредством повторной установки трубопровода в шаблон.

При сборке трубопровода с применением цифровых технологий из автоматизированной системы управления жизненным циклом изделия выгружается соответствующая карта сборки. Карта сборки отражает средства технологического оснащения (стойки), необходимые к использованию при сборке, правила сборки средств технологического оснащения, а также расположение средств технологического оснащения на рабочем столе. Слесарь-сборщик выставляет средства технологического оснащения на рабочем столе, выполняется автоматизированный контроль корректности их установки на

соответствие требований карты сборки посредством контрольно-измерительной системы, формируется соответствующий протокол (рис. 3). Трубопровод собирается с применением выставленных стоек, выполняется прихватка с помощью сварки концевых элементов трубопроводов (рис. 4). После чего выполняется окончательная сварка трубопровода и контроль трубопровода на соответствие требованиям КД и ТД с применением контрольно-измерительной системы. Формируется соответствующий протокол.



Рис. 3. Рабочее место сборщика трубопроводов по 3D модели





Рис. 4. Оснастка для сборки трубопроводов по 3D модели

Применение технологии сборки трубопроводов по 3D моделям обеспечивает объективную фиксацию программно-аппаратным способом результата сборки трубопровода, в том числе по промежуточным контрольным точкам, что повы-

шает качество изготовления продукции, снижает влияние человеческого фактора на выполнение технологического процесса, а также обеспечивает возможность работы с данной информацией в случае необходимости.

### Контроль изготовленного трубопровода

Контроль трубопроводов, изготавливаемых по традиционной технологии, выполняется визуальным способом на соответствие эталонному образцу.

При изготовлении трубопровода по цифровым моделям контроль как труб, так и трубо-

проводов осуществляется с применением контрольно-измерительных машин с формированием соответствующих протоколов, что снижает влияние человеческого фактора на выполнение контрольных операций, повышая качество изготавливаемой продукции (рис. 5).



а)

б)

в)

Рис. 5. Системы контроля трубопроводов: а) оптическая измерительная машина; б) мобильная контрольно-измерительная машина; в) стационарная измерительная система

## Хранение шаблонов и эталонных образцов

До реализации проекта шаблоны и эталонные образцы хранились в специальном помещении с ограниченным доступом. Площадь хранения составляла 30% от производственной площади участка трубопроводов (рис. 6). Ежегодно проводилась проверка эталонных трубопроводов путем примерки образцов на макете двигателя.

После реализации проекта все эталонные образцы представлены в виде электронных моделей, которые хранятся в автоматизированной системе управления жизненным циклом изделия и не требуют производственных помещений для хранения.



Рис. 6. Хранение эталонных образцов

## Выводы

В процессе реализации проекта достигнуты следующие результаты:

1. Оцифрованы все трубопроводы двух модификаций ЖРД. Разработано 304 3D моделей трубопроводов для перспективных ЖРД.

2. Разработана и изготовлена оснастка для гибки на станке с ЧПУ и сборки трубопроводов по 3D моделям.

3. Трубопроводы для одного из перспективных ЖРД полностью изготовлены с применением цифровых технологий без выполнения эталонирования.

4. Хранение эталонных образцов и шаблонов для одного из перспективных ЖРД не требуется.

5. Ежегодная примерка эталонных образцов и шаблонов для одного из перспективных ЖРД не требуется.

6. Достигнуто снижение трудоёмкости изготовления трубопроводов до 20%.

В будущем планируются работы по изготовлению трубопроводов обвязки других перспективных ЖРД с применением цифровых

технологий для изготовления трубопроводов обвязки ЖРД.

Таким образом, несмотря на то, что технология изготовления трубопроводов обвязки ЖРД по эталонам всё ещё распространена на предприятиях РКП внедрение современных высокотехнологичных методов машинной гибки трубопроводов с использованием специализированных станков с ЧПУ обладает рядом значительных преимуществ.

Благодаря созданию ЭКД с использованием программ для 3D моделирования значительно ускоряется подготовка производства, и, как следствие, уменьшаются сроки изготовления готовой продукции. Возможности современного оборудования позволяют исключить метод эталонирования трубопроводов, что обеспечивает сокращение доли ручного труда в процессе производства и позволяет повысить точность изготовления, сборки и улучшить эксплуатационные характеристики ракетно-космической техники.

**Воронежский Евгений Валерьевич** – главный технолог АО «НПО Энергомаш».

Тел.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: energo@npoem.ru

Voronezhskii Evgenii Valerevich – Chief Technologist of JSC «NPO Energomash»

Tel.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: energo@npoem.ru

**Максимов Олег Вячеславович** – заместитель главного технолога по развитию производства АО «НПО Энергомаш».

Тел.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: energo@npoem.ru

Maksimov Oleg Viacheslavovich – Deputy Chief Technologist for production development

of JSC «NPO Energomash».

Tel.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: energo@npoem.ru

**Бреев Евгений Юрьевич** – начальник сектора технического развития АО «НПО Энергомаш».

Тел.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: energo@npoem.ru

Breev Evgenii Iurevich – Head of Technical Development Section of JSC «NPO Energomash».

Tel.: +7 (495) 286-91-13. E-mail: energo@npoem.ru





УДК 629.7:331.101.6

Кондратенко А.Н.  
Kondratenko A.N.

## Исследования вопросов выработки и производительности труда

### The study on the production output and labor productivity

Сформулирована и доказана теорема об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда и теорема об уровне и темпах роста производительности труда и выработки. Предложен метод измерения и проведена оценка производительности труда при изготовлении и пусках космических средств выведения.

A theorem on the change in production output and labor productivity with a change in the ratio of living and past labor costs and a theorem on the growth level and growth rates of labor productivity and production output are formulated and proved. A measurement method is proposed and an assessment of labor productivity in the manufacturing and launching of space launch vehicles is carried out.

**Ключевые слова:** выработка, производительность труда, полезная нагрузка, ракетно-космическая промышленность, теорема

**Keywords:** production output, labor productivity, payload, aerospace industry, theorem

Повышение производительности труда – ключевая задача развития ракетно-космической промышленности (РКП). Рост производительности труда является важнейшим показателем повышения эффективности создания, производства и эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ), в том числе космических ракетных комплексов (КРК). Показатель производительности труда является результирующим определяющим фактором эффективности использования трудовых ресурсов, эффективности использования основных фондов и организации производственно-технологических процессов [1–6]. Правильное измерение производительности труда позволяет адекватно выявить как положительные, так и отрицательные тенденции создания и производства продукции, оказания услуг [1, 3, 6–9].

При изучении категории «производительность труда» важно понимать, что труд во время производства продукции делится на живой, который расходуется в данный момент времени в производственном процессе, и прошлый, который овеществлен в средствах труда [1]. На уровень производительности труда влияют величи-

ны экстенсивности использования труда, интенсивности труда и показатели производственно-технологического состояния оборудования и используемых технологий [6].

В современной экономической литературе, посвященной теории и практике измерения производительности труда [3–9], открытым остается вопрос: какие затраты и какой объем затрат необходимо учитывать при определении уровня и динамики производительности труда? Есть три различные теоретические концепции, определяющие направления и способы решения этого вопроса.

Для дальнейшего изложения введены обозначения:  $i$  – индекс этапа развития:  $i=1$  – начальный этап развития,  $i=2$  – новый этап развития,  $E_{ii}$  – затраты живого труда,  $E_{mi}$  – затраты прошлого труда,  $P_i$  – объем продукции (услуг).

Ниже приведены зависимости для параметров:

– выработка

$$V_i = \frac{P_i}{E_i}; \quad (1)$$

– производительность труда



$$L_{ip} = \frac{P_i}{E_l + E_m}; \quad (2)$$

– коэффициент соотношения затрат живого и прошлого труда

$$x = \frac{E_{l1}}{E_{m1}},$$

при условии  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}} \Rightarrow \frac{E_{l2}}{E_{m2}} = (1 + \alpha)x,$

где:  $-1 < \alpha < 0, \alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1, x > 0,$  (3)

при условии  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} < \frac{E_{l2}}{E_{m2}} \Rightarrow \frac{E_{l2}}{E_{m2}} = (1 + \alpha)x,$

где:  $\alpha > 0, \alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1, x > 0.$

Суть теоретических концепций, определяющих направления и способы решения вопроса о том, какие затраты и какой объем затрат необходимо учитывать при определении уровня и динамики производительности труда, сводятся к следующим трем положениям [3]:

**I концепция.** Производительность труда (2) является результатом деления всей продукции на все затраты. Экономическая составляющая, определенная величиной производительности труда, является уровнем полных затрат на единицу продукции [1, 2]. Основная цель роста уровня производительности труда – снижение живых и прошлых затрат на единицу продукции [1, 2].

**II концепция.** Измерение производительности труда (1) определяется как результат деления всей произведенной продукции на живые затраты продукции (на часть затрат). Экономическая составляющая, рассчитанная величиной производительности труда, является выработкой продукции на одного работника [3, 4]. Основная цель роста выработки – создание как можно больше единиц продукции (оказания услуг) на одного работающего [2, 3].

**III концепция.** Измерение производительности труда определяется как результат деления

части продукции (чистой продукции, продукции созданной живым трудом) на «живые» затраты (на часть затрат) [3, 4]. Экономическая составляющая, определенная величиной производительности труда, является выработкой чистой (условно чистой) продукции на одного работника [1, 3, 6].

Измерения производительности труда величинами, определяемыми методами II и III концепций, необоснованно квалифицируются как показатели уровня производительности труда.

Несостоятельность III концепции обоснована К. Марксом во II томе «Капитала» [1 – т. 24, С. 424] и Р.В. Гавриловым [3 – С. 75–87]. Наиболее всеобъемлющий результат рассмотрения III концепции сформулировал А.Л. Лурье: «Ценностные индексы производительности труда по отдельным отраслям производства (или предприятиям), основанные на исчислении так называемой «чистой продукции»... не дают правильного представления ни о динамике производительности живого труда... ни о производительности труда в широком смысле слова (даже в тех случаях, когда состав продукции не меняется)» [10]. Кроме того, абсолютная величина выработки чистой (условно чистой) продукции на одного работника может быть равна действительному уровню производительности труда только в случае, когда доля чистой продукции в составе полной равна доле живых затрат в составе полных затрат [3].

Необходимость знания показателей выработки (II концепция) особенно важно 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 КРК в РКП. Расчеты уровня выработки обеспечены наличием достаточно 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].





В [8, 9] показано, что выработка преувеличивает не только уровень, но и темпы реального роста производительности труда для случаев роста производительности труда и падения удельного веса живых затрат. В [3] показана возможность, при нарастании доли живых затрат и производстве равновеликой продукции, но с меньшими суммарными затратами, реализации случаев роста производительности труда при уменьшении выработки. Применение выработки для расчетов динамики производительности труда оправдано только в одном случае: когда удельный вес затрат живого и прошлого труда с течением времени не изменяется [3]. Случай, когда удельный вес затрат живого и овеществленного труда остаётся неизменными, явление довольно редкое, и возможен тогда, когда производство совершается на прежней технической основе: затраты сырья, фондов и труда не изменяются или изменяются так, что доли их затрат в общей сумме затрат остаются на прежнем уровне. Для общего случая, как соотносятся характеристики поведения уровня и динамики выработки с соответствующими характеристиками поведения уровня и динамики производительности труда, вопрос требует проведения полных исследований.

Показатель уровня производительности труда (I концепция) является наиболее важным и принципиальным для определения технико-экономической эффективности производственной и экономической деятельности организаций и предприятий, промышленности и ее отраслей [1–3]. «Производительность труда, это в последнем счете самое важное, самое главное для победы ...» по определению В.И. Ленина [2]. В теоретическом аспекте академиком С.Г. Струмилиным определена постановка задачи разработки методики измерения производительности труда с учетом полных затрат и обоснована актуальность внедрения «затратного» метода в практику планирования в организациях и предприятиях [8, 9]. В настоящее время общая методика измерения производительности труда с учетом прошлых затрат (I концепция) не разработана. Разработаны принципы [1, 3, 8, 9] и методики расчета производительности труда для ряда гражданских отраслей экономики (для черной металлургии [9], для сельского хозяйства [11],

для предприятий легкой промышленности [3]), исходя из которых можно построить общую методику измерения производительности труда. Однако разработанные принципы и методики не стали началом расчетов правильного исчисления производительности труда по I концепции [3], что объясняется отсутствием разработанной единой методики определения полных затрат и достаточной для их определения действующей разработанной статистической базы отчетности организаций и предприятий отраслей экономики, в том числе РКП и смежных отраслей ОПК. Экономическая суть проблемы точного измерения производительности труда наиболее точно сформулирована В.В. Новожиловым: «При измерении же производительности общественного труда в производстве определенного продукта главной проблемой является измерение затрат» [7]. Требуется разработка методики определения производительности труда в целом по РКП, организаций и предприятий РКП.

С социально-экономической точки зрения присутствует интерес в росте производительности труда, достигаемого в условиях роста выпуска продукции, что определяет актуальность изучения и вопросов определения уровня и динамики изменения выработки и производительности труда как двух взаимодополняющих параметров.

Далее рассмотрим вопросы изменения выработки и производительности труда в зависимости от изменения соотношения затрат живого и прошлого труда

**Теорема 1**

При росте выработки  $V_1 < V_2$  производительность труда падает  $L_{p1} > L_{p2}$  тогда и только тогда, когда доля затрат живого труда уменьшается по сравнению с долей затрат прошлого труда –  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$ , и рост выработки  $V_2/V_1$  меньше

$$\frac{\frac{E_{l1}}{E_{m1}}}{\frac{E_{l2}}{E_{m2}}} \frac{1 + \frac{E_{l2}}{E_{m2}}}{1 + \frac{E_{l1}}{E_{m1}}} = \frac{1}{1 + \alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1 + x} \right),$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$ .



Рассмотрим доказательство теоремы 1.

Докажем необходимое условие теоремы 1: при росте выработки –  $V_1 < V_2$ , и уменьшении производительности труда –  $L_{p1} > L_{p2}$  доля затрат живого труда уменьшается по сравнению с долей затрат прошлого труда –  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$  и рост выработки  $V_2/V_1$  удовлетворяет условию:

$$1 < \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} < \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} = \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right), \quad (4)$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$ .

Из роста выработки  $V_1 < V_2$  следует:

$$\frac{P_1/E_{l1}}{P_2/E_{l2}} < 1. \quad (5)$$

Из уменьшения производительности труда  $L_{p1} > L_{p2}$  следует

$$\frac{P_1/E_{l1}}{E_{m1}/E_{l1} + 1} > \frac{P_2/E_{l2}}{E_{m2}/E_{l2} + 1}. \quad (6)$$

$$\text{Из (5) (6)} \Rightarrow \frac{E_{m1}/E_{l2} + 1}{E_{m2}/E_{l2} + 1} < \frac{P_1/E_{l1}}{P_2/E_{l2}} < 1 \Rightarrow \frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}.$$

Для производительности труда из (2), (3)

$$\frac{L_{p2}}{L_{p1}} < 1: \quad (7)$$

$$\frac{L_{p2}}{L_{p1}} = \frac{P_2/E_{m2}}{1 + E_{l2}/E_{m2}} \Big/ \frac{P_1/E_{m1}}{1 + E_{l1}/E_{m1}} = \frac{P_2/E_{m2}}{P_1/E_{m1}} \cdot \frac{1+x}{1+(1+\alpha)x} < 1;$$

$$\frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} < \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right) \frac{x}{(1+\alpha)x} = \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right). \quad (8)$$

Из (8) и условия роста выработки  $V_1 < V_2$  следует:

$$1 < \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} < \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right) = \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}}. \quad (9)$$

Для теоремы 1 необходимость доказана.

Для дальнейшего доказательства достаточности теоремы 1 и теоремы 2 рассмотрим лемму 1.

**Лемма 1.** Для  $\forall \alpha$  и  $\forall x$ , удовлетворяющих условию (3), при  $-1 < \alpha < 0$ , всегда выполняется:

$$1 < \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right). \quad (10)$$

Умножим левую и правую части (10) на положительное число  $(1+\alpha)$  и из обеих частей вычтем 1, получим:

$$\left\{ \alpha < \frac{\alpha x}{1+x} \right\}_{\alpha < 0, x > 0} \Rightarrow \left\{ 1 > \frac{x}{1+x}, \text{ где } x > 0 \right\}. \quad (11)$$

Аналогично (действия выполняются в обратном порядке) доказывается, что из (11) следует (10).

Лемма 1 доказана.

Рассмотрим доказательство достаточности для теоремы 1: при уменьшении доли затрат живого труда по сравнению с долей затрат прошлого труда –  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$  и при

$$1 < \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} < \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} = \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right),$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$ , выработка растет  $V_1 < V_2$

и уменьшается производительность труда  $L_{p1} > L_{p2}$ .

$$\text{Из } \left\{ 1 < \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} < \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} = \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right) \right\} \Rightarrow \{V_1 < V_2\}.$$

*def*





Из  $\left\{ \frac{E_{l2}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}} \right\} \Rightarrow (3)$  при  $-1 < \alpha < 0$ , из (3)  $\Rightarrow$   
 (10). Подставив в (4) значение  $x$  из (3), получим:

$$\left\{ \frac{P_2}{E_{l2} + E_{m2}} < \frac{P_1}{E_{l1} + E_{m1}} \right\} \Rightarrow \{L_{p2} < L_{p1}\} \text{ def}$$

Для теоремы 1 достаточность доказана. Теорема 1 доказана.

**Теорема 2**

Если доля затрат живого труда уменьшается по сравнению с долей затрат прошлого труда –  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$ , то при росте выработки –  $V_1 < V_2$ , производительность труда растет –  $L_{p1} < L_{p2}$ , тогда и только тогда, когда рост выработки  $V_2/V_1$  соответствует условию

$$\left\{ \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} > \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} = \frac{1}{1 + \alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1 + x} \right) \right. \quad (12)$$

$$\left. \alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1 \right.$$

где

Для теоремы 2 рассмотрим доказательство необходимости.

Если доля затрат живого труда уменьшается по сравнению с долей затрат прошлого труда –  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$  и производительность труда растет –  $L_{p1} < L_{p2}$ , то рост выработки  $V_2/V_1$  удовлетворяет (12).

Из  $\left\{ \frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}} \right\} \Rightarrow (3) \Rightarrow (10)$ .  
 $-1 < \alpha < 0, 0 < x$

Из  $\{L_{p1} < L_{p2}\} \Rightarrow \left\{ \frac{P_1/E_{l1}}{1 + E_{m1}/E_{l1}} < \frac{P_2/E_{l2}}{1 + E_{m2}/E_{l2}} \right\} \Rightarrow (3), (10)$

$\left\{ \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} > \frac{1}{1 + \alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1 + x} \right) \right\} \Rightarrow (12)$

Необходимость теоремы 2 доказана.

Далее для теоремы 2 рассмотрим доказательство достаточности.

Если доля затрат живого труда уменьшается по сравнению с долей затрат прошлого труда  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$  и рост выработки удовлетворяет

условию  $\frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} < V_2/V_1$  (12), то

производительность труда растет –  $L_{p1} < L_{p2}$ .

Для условия достаточности введены обозначения (3) и как показано выше выполняется (12).

Из (10) и (12)  $\Rightarrow V_2/V_1 > 1 \Rightarrow V_2 > V_1$  – выработка растет.

Из (12)  $\Rightarrow \left\{ \frac{P_2/E_{l2}}{P_1/E_{l1}} > \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} \right\} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow \left\{ \frac{P_2}{E_{l2} + E_{m2}} > \frac{P_1}{E_{l1} + E_{m1}} \right\} \Rightarrow \{L_{p1} < L_{p2}\} \text{ def}$

Достаточность условий для теоремы 2 доказана.

Теорема 2 доказана.

**Теорема 3**

Когда доля затрат живого труда увеличивается по сравнению с долей затрат прошлого труда –  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} < \frac{E_{l2}}{E_{m2}}$ , то при росте выработки  $V_1 < V_2$  производительность труда всегда растет  $L_{p1} < L_{p2}$ :

из  $\frac{E_{l1}}{E_{m1}} < \frac{E_{l2}}{E_{m2}} \Rightarrow (3)$  при  $0 < \alpha$ . (13)

Для доказательства теоремы 3 рассмотрим лемму 2.

**Лемма 2.** Для  $\forall \alpha$  и  $\forall x$ , удовлетворяющих (3), при  $0 < \alpha$ , всегда выполняется:

$1 > \frac{1}{1 + \alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1 + x} \right)$  (14)

Умножим левую и правую части (14) на положительное число  $(1 + \alpha)$  и из обеих частей вычтем 1, получим:

$\left\{ \alpha > \frac{\alpha x}{1 + x} \right\} \Rightarrow \left\{ 1 > \frac{x}{1 + x} \right\}$ , при  $x > 0$  (15)  
 $\alpha > 0, x > 0$

Аналогично (действия выполняются в обратном порядке) доказывается, что из (15) следует (14).

Лемма 2 доказана.

$$\{V_1 < V_2\} \Rightarrow \left\{ \frac{P_2/E_{I2}}{P_1/E_{I1}} > 1 > \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right) \right\} \quad (16)$$

$$\left\{ \frac{P_2/E_{I2}}{P_1/E_{I1}} > 1 > \frac{1}{1+\alpha} \left( 1 + \frac{\alpha x}{1+x} \right) \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \frac{P_1/E_{I1}}{1 + E_{m1}/E_{I1}} < \frac{P_2/E_{I2}}{1 + E_{m2}/E_{I2}} \right\} \quad (17)$$

$$\left\{ \frac{P_1/E_{I1}}{1 + E_{m1}/E_{I1}} < \frac{P_2/E_{I2}}{1 + E_{m2}/E_{I2}} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \frac{P_2}{E_{I2} + E_{m2}} > \frac{P_1}{E_{I1} + E_{m1}} \right\} \Rightarrow \{L_{p1} < L_{p2}\} \quad (18)$$

Теорема 3 доказана.

### Теорема об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда

1. При уменьшении доли затрат живого труда по сравнению с долей затрат прошлого труда –

$$\frac{E_{I1}}{E_{m1}} > \frac{E_{I2}}{E_{m2}} :$$

– в случае роста выработки  $V_1 < V_2$  изменение производительности труда  $L_p$ :

$L_{p1} > L_{p2}$  – тогда и только тогда, когда

$$1 < V_2/V_1 < \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\},$$

$$L_{p1} < L_{p2} \text{ – при } 1 < \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\} < V_2/V_1 ;$$

– в случае падения выработки  $V_1 > V_2$  изменение производительности труда  $L_p$ :

$L_{p1} < L_{p2}$  – не реализуется никогда;

$L_{p1} > L_{p2}$  – производительность труда всегда падает.

2. При увеличении доли затрат живого труда по сравнению с долей затрат прошлого труда –

$$\frac{E_{I1}}{E_{m1}} < \frac{E_{I2}}{E_{m2}} :$$

– в случае роста выработки  $V_1 < V_2$  изменение производительности труда  $L_p$ :

$L_{p1} < L_{p2}$  – производительность труда всегда растет;

$L_{p1} > L_{p2}$  – не реализуется никогда;

– в случае падения выработки  $V_1 > V_2$  изменение производительности труда  $L_p$ :

$L_{p1} < L_{p2}$  тогда и только тогда, когда

$$1 > V_2/V_1 > \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\},$$

$$L_{p1} > L_{p2} \text{ при } 1 > \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\} > V_2/V_1 .$$

Для случая роста выработки доказательство теоремы приведено выше в теоремах 1–3. Для случая падения выработки доказательство теоремы аналогично доказательству теорем 1–3. При доказательстве теоремы об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда используется лемма 3.

**Лемма 3.** При уменьшении доли затрат живого труда по сравнению с долей затрат прошлого

труда –  $\frac{E_{I1}}{E_{m1}} > \frac{E_{I2}}{E_{m2}}$ , всегда  $1 < \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\}$ ,

при увеличении доли затрат живого труда по сравнению с долей затрат прошлого труда –

$$\frac{E_{I1}}{E_{m1}} < \frac{E_{I2}}{E_{m2}}, \text{ всегда } 1 > \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\} .$$

Доказательство леммы 3 следует из доказательства леммы 1 и леммы 2:

– для случая  $\frac{E_{I1}}{E_{m1}} > \frac{E_{I2}}{E_{m2}}$  реализуется –

$I < \alpha < 0$  и следуют формулы (3) и (10), а значит

$$1 < \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\},$$

– для случая  $\frac{E_{I1}}{E_{m1}} < \frac{E_{I2}}{E_{m2}}$  реализуется  $0 < \alpha$

и следуют формулы (3), (14), а значит

$$1 > \left\{ \frac{E_{I1}/E_{m1}}{E_{I2}/E_{m2}} \frac{1 + E_{I2}/E_{m2}}{1 + E_{I1}/E_{m1}} \right\} .$$

Лемма 3 доказана.



Рассмотрим на основе теоремы об уровне и темпах роста производительности труда и выработки вопросы несостоятельности измерения производительности труда с помощью измерений выработки.

**Теорема об уровне и темпах роста производительности труда и выработки**

1. Величина выработки  $V$  всегда больше уровня производительности труда  $L_p$ .

2. При уменьшении удельного веса живых затрат в общих затратах  $-\frac{E_{l1}}{E_{l1} + E_{m1}} > \frac{E_{l2}}{E_{l2} + E_{m1}}$ :

2.1 При росте уровня производительности труда  $-L_{p1} < L_{p2}$ , уровень выработки растет  $-V_1 < V_2$ , а темп роста выработки  $V_2/V_1$  превышает реальные темпы роста производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат прошлого труда – на величину

$$\left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} - \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) / \left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} + \frac{E_{l1}}{E_{m1}} \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) = -\frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x},$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$

2.2 При уменьшении уровня выработки  $-V_1 > V_2$ , уровень производительности труда всегда уменьшается  $-L_{p1} > L_{p2}$ , а темп падения выработки  $V_2/V_1$  превышает реальные темпы падения производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат прошлого труда – на величину

$$\left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} - \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) / \left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} + \frac{E_{l1}}{E_{m1}} \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) = -\frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x},$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$ .

3. При росте удельного веса живых затрат в общих затратах  $-\frac{E_{l1}}{E_{l1} + E_{m1}} < \frac{E_{l2}}{E_{l2} + E_{m2}}$ :

3.1 При росте уровня выработки  $-V_1 < V_2$ , уровень производительности труда всегда растет  $-L_{p1} < L_{p2}$ , а темп роста выработки  $V_2/V_1$  занижает реальные темпы роста производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат живого труда – на величину

$$\left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} - \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) / \left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} + \frac{E_{l1}}{E_{m1}} \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) = \frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x},$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$ .

3.2 При уменьшении уровня производительности труда  $-L_{p1} > L_{p2}$ , уровень выработки уменьшается  $-V_1 < V_2$ , а темп падения выработки  $V_2/V_1$  занижает реальные темпы падения производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат живого труда – на величину

$$\left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} - \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) / \left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} + \frac{E_{l1}}{E_{m1}} \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right) = \frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x},$$

где  $\alpha = \frac{E_{l2}/E_{m2}}{E_{l1}/E_{m1}} - 1$ .

Доказательство. Принимаются обозначения (1)–(3).

1. Доказательство части 1 теоремы.

Поскольку  $E_i < (E_i + E_m) \Rightarrow \frac{P_i}{E_i} > \frac{P_i}{E_i + E_m} \Rightarrow V_i > L_p$ .

Часть 1 теоремы доказана.

Доказательство части 2.1 теоремы.

Из условия части 2.1 теоремы реализуется ситуация (1)–(3). Из условия первой части теоремы об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда следует:

$$-1 < \alpha < 0 \tag{19}$$

При этом  $1 < L_{p2}/L_{p1}$  и

$$1 < \left\{ \frac{E_{l1}/E_{m1} \cdot 1 + E_{l2}/E_{m2}}{E_{l2}/E_{m2} \cdot 1 + E_{l1}/E_{m1}} = \frac{1}{1 + \alpha} \left(1 + \frac{\alpha x}{1 + x}\right) \right\} < V_2/V_1.$$

Выработка растет  $-V_2 > V_1$ .

Рассмотрим при  $-1 < \alpha < 0$  величину выражения  $\frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x}$ :

$$-1 < \alpha < 0 \Rightarrow [1 + (1 + \alpha)x] > 0 \Rightarrow x > 0 \text{ по (3)} \Rightarrow -1 < \alpha < 0, x > 0 \tag{20}$$

$$\left\{ \frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x} < 0 \right\}$$

Преобразуем неравенство (20) – к левой и правой части прибавим 1, каждую часть умножим на положительную величину  $\frac{P_2/E_{I2}}{P_1/E_{I1}}$  и подставим значения  $x$  и  $\alpha$  из (3):

$$\left\{ \frac{P_2/E_{I2}}{1 + E_{m2}/E_{I2}} \middle/ \frac{P_1/E_{I1}}{1 + E_{m1}/E_{I1}} \right\} < \frac{P_2/E_{I2}}{P_1/E_{I1}} \quad (21)$$

Из (21)  $\Rightarrow L_{p2}/L_{p1} < V_2/V_1$  – темп роста выработки  $V_2/V_1$  превышает темпы роста производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$ .

Из (3), (20)  $\Rightarrow (V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) = \left( \frac{E_{I1}}{E_{m1}} - \frac{E_{I2}}{E_{m2}} \right) / \left( \frac{E_{I1}}{E_{m1}} + \frac{E_{I1}}{E_{m1}} \frac{E_{I2}}{E_{m2}} \right) = -\frac{\alpha}{1+(1+\alpha)x} V_2/V_1 > 0$ , т.е. чем больше абсолютное значение  $\alpha$  (больше возрастает доля затрат прошлого труда), тем на большую величину, равную  $-\frac{\alpha}{1+(1+\alpha)x} V_2/V_1$ , темпы

роста выработки  $V_2/V_1$  превышают реальные темпы роста производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$ .

Часть 2.1 теоремы доказана.

Следует отметить, что при увеличении доли прошлых затрат в составе общих и росте производительности труда для случаев «... а) прежний объем продукции абсолютный размер полных затрат снизился (в какой угодно мере), а в составе их должен быть снижен абсолютный размер живых затрат при снизившихся (или прежних) прошлых затратах; б) меньший объем продукции общие затраты снизились, как и в первом случае, но обязательно сверх меры, соответствующей сокращению объема продукции; в) рост продукции суммарные затраты либо остались прежними или в любой мере снизились, постоянно сохраняя долю живых затрат меньшей, либо возросли, но не сверх того, что соответствует росту объема продукции...» [3], утверждение, что исчисление динамического ряда роста выработки превышает реальные темпы роста динамики производительности труда и тем сильнее, чем быстрее возрастает доля прошлых затрат в составе полных, впервые получено академиком С.Г. Струмилиным [3, 8, 9].

Доказательство части 2.2 теоремы.

Из условия части 2.2 теоремы реализуется ситуация (1)–(3). Из условия первой части теоремы об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда следует:

$$-1 < \alpha < 0, V_1 > V_2, L_{p1} > L_{p2}. \quad (22)$$

Из (22)  $\Rightarrow V_2/V_1 < 1$  и  $L_{p2}/L_{p1} < 1$ .

С учетом (1)–(3):

$$(V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) = -\frac{\alpha}{1+(1+\alpha)x} V_2/V_1 > 0, \quad (23)$$

при этом  $\left| \frac{\alpha}{1+(1+\alpha)x} \right| < 1$

Из (23)  $\Rightarrow (V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) \stackrel{def}{=} (1)-(3)$

$$\stackrel{def}{=} \left( \frac{E_{I1}}{E_{m1}} - \frac{E_{I2}}{E_{m2}} \right) / \left( \frac{E_{I1}}{E_{m1}} + \frac{E_{I1}}{E_{m1}} \frac{E_{I2}}{E_{m2}} \right).$$

По (23) темп падения выработки  $V_2/V_1$  превышает реальные темпы падения производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат прошлого труда.

Часть 2.2 теоремы доказана.

### 3. Доказательство части 3.1 теоремы.

Из условия части 3.1 теоремы реализуется ситуация (1)–(3). Из условия второй части теоремы об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда следует:

$$0 < \alpha, V_1 < V_2, L_{p1} < L_{p2} \quad (24)$$

Из (24)  $\Rightarrow V_2/V_1 > 1$  и  $L_{p2}/L_{p1} > 1$ .

С учетом (1)–(3):

$$(V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) = -\frac{\alpha}{1+(1+\alpha)x} V_2/V_1 < 0, \quad (24)$$

при этом  $0 < \frac{\alpha}{1+(1+\alpha)x} < 1$ .

Из (25)  $\Rightarrow (V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) \stackrel{def}{=} (1)-(3)$

$$\stackrel{def}{=} -\left( \frac{E_{I2}}{E_{m2}} - \frac{E_{I1}}{E_{m1}} \right) / \left( \frac{E_{I1}}{E_{m1}} + \frac{E_{I1}}{E_{m1}} \frac{E_{I2}}{E_{m2}} \right).$$



По (25) темп роста выработки  $V_2/V_1$  занижает реальные темпы роста производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат живого труда.

Часть 3.1 теоремы доказана.

Доказательство части 3.2 теоремы.

Из условия части 3.2 теоремы реализуется ситуация (1)–(3). Из условия второй части теоремы об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда следует:

$$0 < \alpha, V_1 > V_2, L_{p1} > L_{p2} \quad (26)$$

Из (26)  $\Rightarrow V_2/V_1 < 1$  и  $L_{p2}/L_{p1} < 1$ .

С учетом (1)–(3):

$$(V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) = -\frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x} V_2/V_1 < 0, \quad (27)$$

при этом  $\frac{\alpha}{1 + (1 + \alpha)x} < 1$ .

$$\begin{aligned} \text{Из (27)} \quad & \Rightarrow (V_2/V_1 - L_{p2}/L_{p1}) \stackrel{\text{def}}{=} \\ & (1) - (3) \\ & \stackrel{\text{def}}{=} -\left(\frac{E_{l2}}{E_{m2}} - \frac{E_{l1}}{E_{m1}}\right) \Big/ \left(\frac{E_{l1}}{E_{m1}} + \frac{E_{l1}}{E_{m1}} \frac{E_{l2}}{E_{m2}}\right). \end{aligned}$$

По (27) темп падения выработки  $V_2/V_1$  занижает реальные темпы падения производительности труда  $L_{p2}/L_{p1}$  и тем больше, чем больше возрастает доля затрат живого труда.

Часть 3.2 теоремы доказана.

### Выводы

1. Для общего случая впервые математически сформулированы и проведено доказательство теорем:

– об изменении выработки и производительности труда при изменении соотношения затрат живого и прошлого труда;

– об уровне и темпах роста производительности

труда и выработки.

2. Доказана невозможность замены измерений уровня производительности труда измерениями уровня выработки даже в качественном плане для определения тенденций поведения уровня производительности труда.

*(продолжение следует)*

### 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.: издательство политической литературы, 1970. – С.21
3. Гаврилов Р.В. Повышение производительности труда. – Ижевск: Издательство «Удмуртия», 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. Новожилов В.В. Статистическая методология изучения производительности труда в народном хозяйстве СССР. – М.: Госстатиздат, 1958. – С. 45.
8. Струмилин С.Г. Статистическая методология изучения производительности труда в народном хозяйстве СССР. – М.: Госстатиздат, 1958. – С. 33.
9. Струмилин С.Г. Проблемы экономики труда. – Избранные произведения: В 5-ти томах. – М.: Наука, 1964, т.3. – С. 1–327.



10. Лурье А.Л. Измерение динамики производительности труда при помощи ценностных индексов – Ученые записки по статистике, том III. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 207–225.

11. Немчинов В.С. Применение нормативной статистики при изучении производительности труда в сельском хозяйстве – Ученые записки по статистике, том II. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 232.

**Кондратенко Александр Николаевич** – канд. техн.

наук, эксперт ФГУП «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 FSUE

«NPO «Technomash» named after S.A. Afanasev.

Tel.: 8(495) 689-96-90. E-mail: A.Kondratenko@

tmnpo.ru

