

1938 - 2023



АО «НПО «ТЕХНОМАШ»

ИМ. С.А.АФАНАСЬЕВА»

**ВЫПУСК № 1 (22)
2023**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

«НПО «ТЕХНОМАШ»

**Совершенствование оборудования для изготовления
интенсификаторов теплообмена
и сепарации на базе спирально -
- профильных труб
с.4**

ТЕХНОЛОГИИ - ПРОВЕРЕННЫЕ КОСМОСОМ

**Особенности
и основные задачи
развития
производственной
системы ракетно-
-космической
промышленности России
с. 19**

**Вопросы метрологического
обеспечения ракетно-космической
промышленности
с.54**



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

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

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

Члены редакционной коллегии:

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

Выпускающий редактор – Г.А. Аношкина

Макет обложки – А.А. Сляднев

Компьютерная верстка – А.С. Аболихина

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

ISSN 2712-7966

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

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

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

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

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

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

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



Уважаемые коллеги!

Научные исследования в ракетно-космической отрасли существенно влияют на общий уровень российских производственных технологий, которые в последнее время получили значительные вызовы. Опираясь на опыт прошлых лет и современные достижения, перед отраслью формируются новые инновационные задачи, решение которых позволит обеспечить не только экономическую и национальную безопасность России, но и составить конкуренцию на мировом рынке космических услуг.

В ходе исследований в настоящее время выявляются наиболее востребованные производственные технологии и обозначаются направления для технологического развития в соответствии с потребностями предприятий и мировыми тенденциями. Полученные результаты используются в интересах совершенствования деятельности Госкорпорации «Роскосмос», ее производственных и научно-исследовательских предприятий, а также российских частных компаний, стремящихся выйти со своими инновационными разработками на рынок наравне с государственными предприятиями. Важная роль в поиске решений отраслевых технических и технологических задач на основе научных знаний принадлежит научным рецензируемым журналам.

Статьи этого номера выходят под рубриками «Технологии заготовительного производства», «Современные требования и технологическое развитие предприятий РКП» и «Стандартизация, сертификация, качество и метрология». В них раскрываются как общие вопросы методических оценок уровня конструктивно-технологического совершенства и производственных систем ракетно-космической промышленности, так и частные, посвященные интенсификации теплообмена на базе спирально-профильных труб и проблемам входного и операционного контроля при единичном производстве.

Редакция надеется, что представленные работы найдут заинтересованных читателей и вызовут продолжение обсуждения поставленных задач на страницах нашего журнала.



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

Г.В. Боровский

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Вайцехович С.М., Власов Ю.В.

Совершенствование оборудования для изготовления интенсификаторов теплообмена и сепарации на базе спирально-профильных труб..... 4

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП

Кузин А.И.

Методические предложения по оценке уровня конструктивно-технологического совершенства создаваемых (модернизируемых) средств выведения..... 14

Пантелеев К.Д.

Особенности и основные задачи развития производственной системы ракетно-космической промышленности России..... 19

Пантелеев К.Д.

Концептуальная схема и модель процесса управления эффективностью производственной системы ракетно-космической промышленности 32

Пантелеев К.Д.

Особенности системного подхода к повышению эффективности производственной системы космического машиностроения..... 40

Кондратенко А.Н.

Вопросы метрологического обеспечения ракетно-космической промышленности..... 54

Распопова Н.П., Кондратенко А.Н., Иванов А.А., Дегтярев Б.Д., Иванов В.Н.

Нормативные и методические проблемы организации и проведения технологического аудита и технологического проектирования 61

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ

Лобанов А.В., Круглова Ю.В., Рябчиков П.В.

Проблемные вопросы входного и операционного контроля при единичном производстве..... 69



CONTENTS

BLANK PRODUCTION TECHNOLOGIES

Vaitsekhovich S.M., Vlasov Iu.V.

Improvement of equipment for manufacturing heat transfer
and separation intensifiers based on spiral shaped pipes..... 4

WELDING AND BRAZING PROCEDURES

Kuzin A.I.

Methodological proposals for assessing the level of structural
and technological perfection of the built (upgraded) launch vehicles..... 14

Pantelev K.D.

Features and main challenges in the development
of the Russian aerospace industry's production system..... 19

Pantelev K.D.

Conceptual scheme and model for the performance management process
of aerospace industry production system 32

Pantelev K.D.

Features of a systematic approach to improving the efficiency
of the aerospace engineering production system..... 40

Kondratenko A.N.

Issues of metrological support of the aerospace industry..... 54

Raspopova N.P., Kondratenko A.N., Ivanin A.A., Degtyrev B.D., Ivanov V.N.

Regulatory and Methodological Problems of Organising
and Carrying out Process Audits and Process Design..... 61

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND METROLOGY

Lobanov A.V., Riabchikov P.V., Kruglova Iu. V.

Issues of input and output control in single unit production..... 69

УДК 621.774:536.4

Вайцехович С.М., Власов Ю.В.
Vaitsekhovich S.M., Vlasov Yu.V.

Совершенствование оборудования для изготовления интенсификаторов теплообмена и сепарации на базе спирально-профильных труб

Improvement of equipment for manufacturing heat transfer and separation intensifiers based on spiral shaped pipes

Приведены конструктивные особенности устройств для передачи энергии, разделения потоков, очистки воздуха, компенсации осевых, радиальных смещений и вибрационных воздействий при работе энергетического оборудования. Показано влияние формы и геометрических параметров трубопроводных каналов на интенсификацию тепловых, сепарационных процессов, а также виброизоляцию и повышение эксплуатационной надёжности при угловых и радиальных сдвигах.

The design features of devices for energy transfer, flow separation, air purification, axial, radial displacement and vibration compensation during power equipment operation are presented. The influence of the shape and geometric parameters of pipeline channels on the intensification of thermal, separation processes as well as vibration isolation and increase of operational reliability under angular and radial shear is shown.

Ключевые слова: теплообменная труба, сепаратор, сильфон, компенсатор, гофры, шаг, спирально-профильная гофра, жёлоб, течение жидкости, прокатно-волочильный стан, приводная клеть, ролик-оправка.

Keywords: heat-exchange pipe, separator, bellows, compensator, corrugations, pitch, spiral-profile corrugation, chute, fluid flow, rolling mill, drive stand, guide roller.

Введение

Эффективность энергетических систем, в состав которых входят трубы, передающие энергию, существенно зависит от геометрической формы проходного сечения каналов трубопровода. Спирально-профильная труба (СПТ) принадлежит к классу дискретно шероховатых каналов с винтовой симметрией. Каналы подобных геометрий позволяют интенсифицировать теплообмен для ламинарных потоков до десяти раз при двух- трёхразовом росте гидросопротивления.

На сегодняшний день одним из эффективных путей совершенствования теплообменников, сепараторов и сильфонов, передающих по трубообразным каналам энергетические потоки, можно считать ин-

тенсификацию потока, в частности за счёт введения дополнительных элементов, влияющих на форму проходного сечения трубы:

- по принципу винтовой закрутки (скрученная в спираль лента, помещённая внутрь трубы, винтовое шнековое оребрение, трубчатый пучок с винтовым закручивателем потока);
- по принципу локальной закрутки потока (лопаточные, лопастные интенсификаторы);
- по принципу разрушения пристенных слоёв жидкости (кольцевая накатка, различные вставки);
- по принципу пристенной турбулизации (трубы с углом накатки по отношению к оси заготовки в пределах $75 \div 85^\circ$).

Разработка оборудования для изготовления СПТ

Спирально-профильные трубы условно применяются в трёх направлениях:

- теплообменники (угол наклона гофров $\alpha = 20-45^\circ$);
- сепараторы (угол наклона гофров $\alpha = 45-65^\circ$);
- сильфоны (угол наклона гофров $\alpha = 65-85^\circ$).

Для изготовления труб каждого направления мо-

жет использоваться прокатно-волочильный стан (рис. 1), оснащённый приводной клетью (рис. 2, 3) и внутренней профильной оправкой (рис. 4) для более качественной проработки формы гофров.

Стан включает станину, разделённую на две части (переднюю 2 и заднюю 3), между которыми размещена



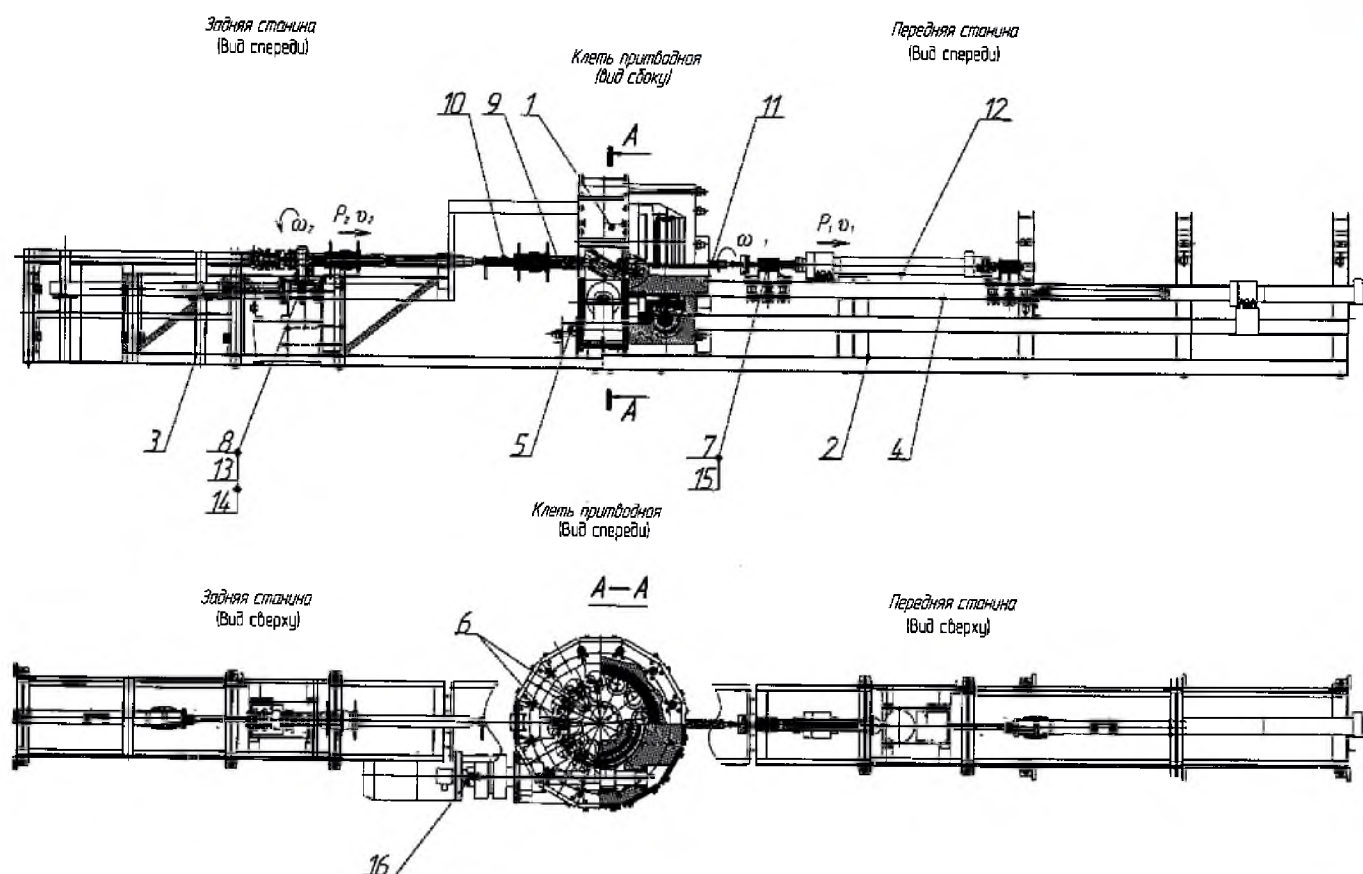


Рис. 1. Прокатно-волочильный стан:

- 1 – клеть; 2 – задняя станина; 3 – передняя станина; 4 – гидроцилиндр; 5 – шток гидроцилиндра;
 6 – центрирующее устройство; 7 – трубная заготовка; 8 – каретка перемещения профилированной части заготовки; 9 – профилированная часть трубной заготовки; 10 – каретка подачи заготовки; 11 – оправка профильная;
 12 – каретка продольной подачи профильной оправки; 13 – механизм вращения оправки; 14 – штанга;
 15 – поводковое устройство; 16 – мотор-редуктор

рама 5 для крепления клетки 1, состоящей из набора зубчатых передач для радиального перемещения и принудительного вращения профилированных роликов 6. На станинах 2, 3 установлены направляющие полозья 4, состоящие из швеллеров, между полками которых размещаются колёса кареток 7 и 8.

Каретка 7, расположенная на передней станине 2, предназначена для крепления внутренней профильной оправки 9 и передней законцовки трубной заготовки 10 в целях перемещения их с заданной скоростью \mathcal{G}_1 во время профилирования и удержания гофрированной части 11 трубной заготовки при извлечении из неё внутренней профильной оправки 9. Перемещение каретки 7 осуществляется силовым гидроцилиндром 12, работающим от гидростанции, управляемой системой ЧПУ.

Каретка 8, расположенная на задней станине 3, предназначена для крепления задней законцовки

трубной заготовки 10 цапговым патроном 13, имеет возможность перемещаться со скоростью \mathcal{G}_2 , равной или отличной от скорости перемещения каретки 7, и фиксирует направляющую штангу 14, удерживающую внутреннюю оправку 9, имеющую отдельное крепление на задней станине 3, а также свои отдельные механизмы, обеспечивающие вращение и осевое перемещение внутренней оправки 9 вне зависимости от скорости перемещения трубной заготовки 10.

В случае большой длины трубной заготовки 10 (более 5 метров) [1] крепление её со стороны передней станины 2 осуществляется поводковым устройством 15, которое центрирует трубную заготовку 10 относительно клетки 1 и штока гидроцилиндра 12 как в радиальном, так и в осевом направлениях [2].

Перемещение поводкового устройства 15 регулируется системой ЧПУ, управляющей рабочими

функциями прокатно-волочильного стана: осевым перемещением кареток 7, 8 и штангой 14, вращением штанги 14, мотор-редуктором 16 и поводковым устройством 15, обеспечивающими съём профилированной части 11 трубной заготовки с профильной оправки 9 путём её выкручивания.

Основным устройством, формирующим сквозные винтообразные желобообразные полые гофры, является приводная клеть 1, реализующая вращение роликов в автоматическом режиме через систему зубчатых передач (рис. 2).

Работа приводной клетки осуществляется следующим образом:

– трубная заготовка 10 устанавливается внутри клетки 1, и её законцовки закрепляются в каретках 7, 8 передней 2 и задней 3 станин прокатно-волочильного стана;

– в ручном режиме в стенку трубной заготовки 10 проводится внедрение роликов 6 на заданную глубину гофров;

– по программе ЧПУ гидроцилиндр 12 начинает перемещать трубную заготовку 10 в осевом

направлении, с возрастающим усилием создаётся натяг, приводящий в движение поводковое устройство 15 [2], и при достижении критического значения трубная заготовка под действием сложения сил от стенки, гофра начинает поворачиваться вокруг своей продольной оси и смещаться в осевом направлении в сторону тянущего гидроцилиндра.

Скорость перемещения гидроцилиндра может быть определена уравнением [2]:

$$v_1 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot n, \quad (1)$$

где: v_1 – скорость осевого перемещения трубы, R – радиус описанной окружности трубы, tg – тригонометрическая функция, α – угол на профильной части трубы, n – число оборотов трубы в единицу времени, $\pi = 3,1416$.

Принудительно вращающиеся ролики 6 уменьшают величину тянущего усилия, прилагаемого гидроцилиндром, что стабилизирует процесс гофрообразования и способствует повышению качества профиля гофров.

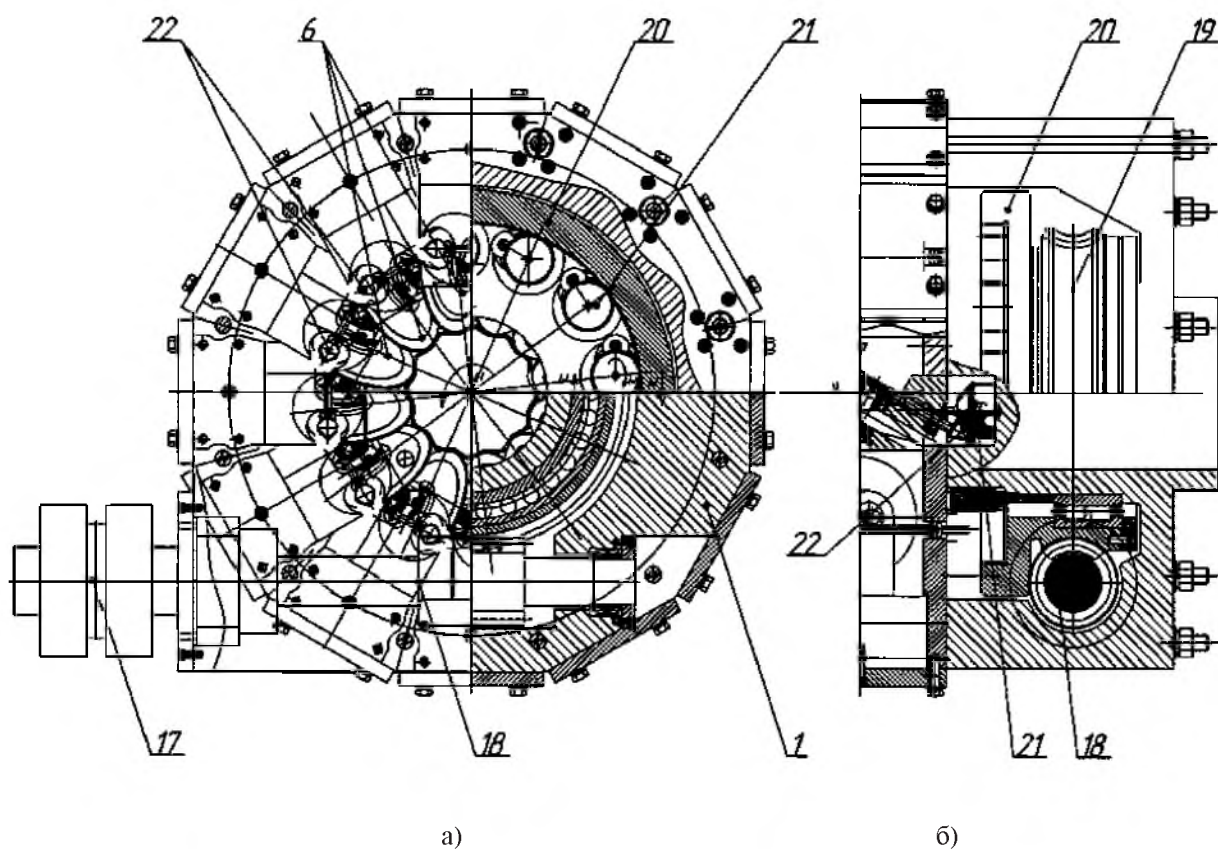


Рис. 2. Клеть приводная двенадцатизаходная: а – вид спереди, б – вид слева:
17 – муфта; 18 – червячный вал; 19 – червячное колесо (18–19, модуль $m=16$ мм); 20 – ротор, 21 – шестерня;
22 – косозубые шестерни; 23 – червячный вал; 24 – червячное колесо (23–24, модуль $m=2$ мм)

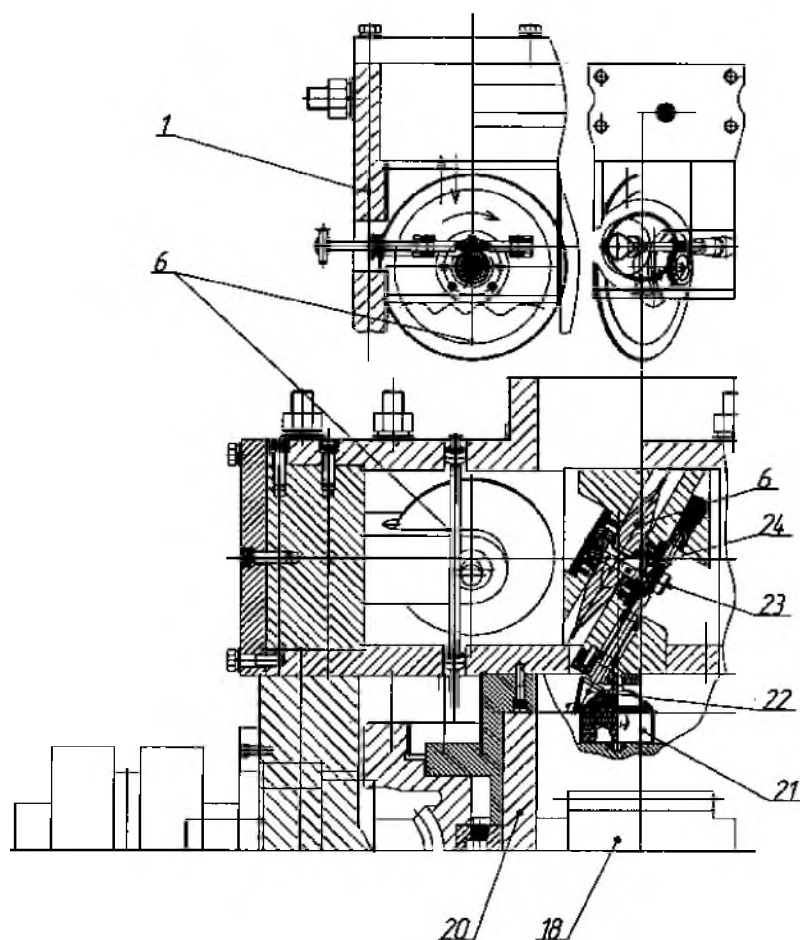


Рис. 3. Схема крепления ролика: 1 – клеть; 6 – ролик; 18 – червячный вал; 20 – ротор; 21 – шестерня; 22 – косозубые шестерни; 23 – червячный вал; 24 – червячное колесо (23–24, модуль $m=2$ мм)

На рис. 3 представлена кинематическая схема крепления роликов.

Мотор-редуктор 16 (рис. 2, 3) через муфту 17 и червячный вал 18 воздействует на червячное колесо 19 (18–19, модуль $m=16$ мм), состыкованное с ротором 20, выполненным с цилиндрической полостью, на стенке которого выгранены зубья шевронного зацепления с шестернями 21. В свою очередь, шестерни 21 состоят в зубчатом зацеплении с косозубыми шестернями 22, валы которых выполнены в виде червячного вала 23, контактирующего с червячным колесом 24 (23–24, модуль $m=2$ мм), являющимся осью для удержания и вращения роликов 6 (рис. 3).

Геометрия гофров может иметь профиль – симметричный $СП_s$ и несимметричный $СП_n$. Для получения калиброванного симметричного профиля используют профильную оправку [3] (рис. 4).

Большое влияние на качество гофров имеет угол разворота ролика β (рис. 5). Следует иметь в виду,

что установка ролика на угол, равный углу наклона рёбер профильной оправки, не гарантирует одинаковой величины зазоров между роликом и стенками рёбер внутренней оправки. Внедрение ролика в стенку трубы под углом β вминает стенку трубы в паз канавки, образованный рёбрами профильной оправки с неодинаковой величиной зазора относительно стенок канавки, между которыми расположен ролик. Геометрическое искажение очага деформации возникает по причине того, что ролик расположен в плоскости, а канавка – на оправке (на цилиндрической поверхности). Касательные прямые (направление действующих сил) в каждой точке стенки канавки будут образовывать с плоскостью ролика постоянно изменяющийся угол. Причём этот угол будет равен нулю только в местах пережима очага деформации, когда касательная будет параллельна плоскости ролика 6. Поэтому величина зазора между поверхностью ролика и стенками канавки будет на всем протяжении создаваемого

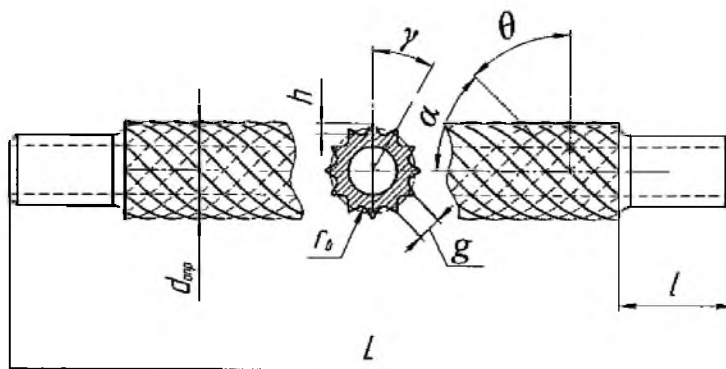


Рис. 4. Оправка двенадцатизаходная: L – общая длина оправки; l – плечо; $d_{опр}$ – наружный диаметр оправки; α – угол спирали; γ – угол между рёбер; $\theta_{опр}$ – угол подъёма винтовой линии; h – глубина паза; $r_в$ – радиус впадины; g – расстояние между рёбрами

очага деформации разной. Боковая поверхность контакта ролика 6 со стенкой заготовки во время обкатки стенки трубы будет разной, разным будет и испытываемое давление, направленное в сторону стенки канавки профильной оправки 9.

На рис. 5 приняты следующие обозначения: γ – угол поворота ролика в пл. ZOY, φ – угол поворота ролика в пл. ZOX, H – максимальная точка внедрения ролика в трубную заготовку, $D^{исх}$ – начальный размер трубной заготовки, D^0 – диаметр описанной окружности профильной части трубы, P – усилие тяги гидроцилиндра, v_1 – скорость перемещения трубной заготовки, BC – хорда внедрения ролика, вид спереди, E – точка вхождения ролика в трубную заготовку, EB – дуга вхождения

ролика в трубную заготовку, вид спереди, β – угол разворота роликов, α – угол спирали профильной части оправки, α^i – проекция угла α на плоскость, перпендикулярную плоскости ролика, A – межосевое расстояние между роликом и оправкой (O_iO); B – точка пересечения плоскости (1-1) и плоскости перпендикулярной плоскости ролика ($X'-X'$), BC – половина хорды внедрения ролика в стенку трубы, δ – угол между плоскостью ($X'-X'$), и плоскостью (1-1), s – толщина стенки трубной заготовки, $d_{опр}$ – диаметр оправки, $r_{опр}$ – радиус ребра оправки, $L_{шаг}$ – шаг спирали ($L_{шаг} = ED$), Δ – смещение осей оправки и ролика в плоскости ZOX, 6 – ролик, 10 – трубная заготовка, 11 – гофрированная часть изделия.

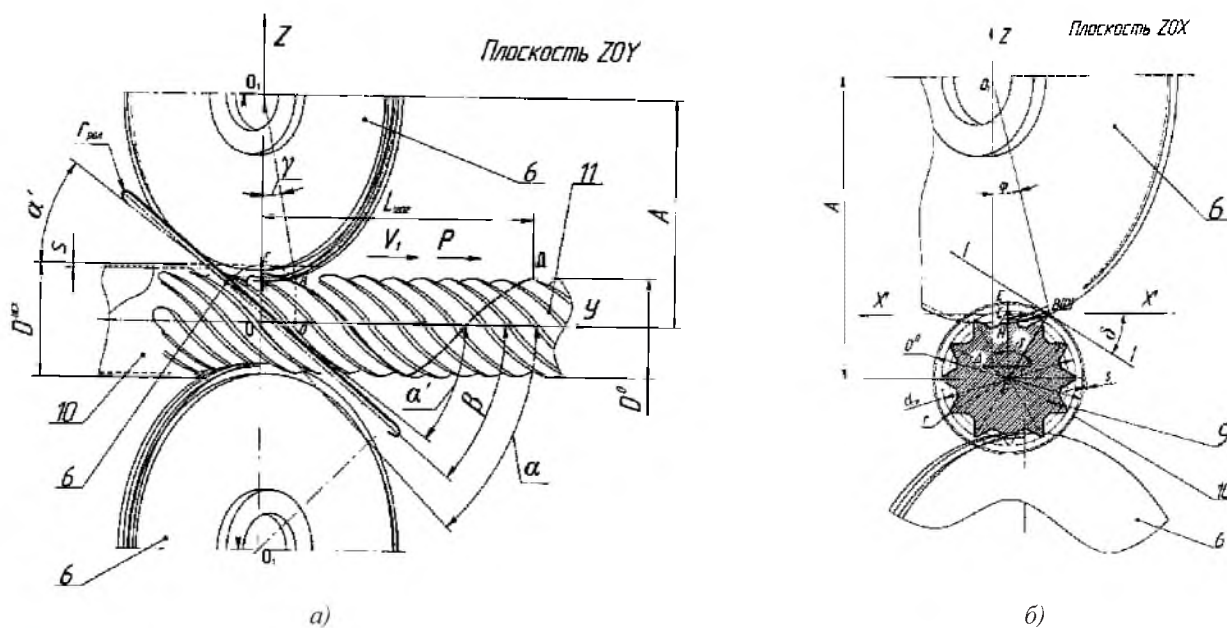


Рис. 5. Схема расчёта формообразования спирально-профильной части сиффона СП: а – вид спереди; б – вид сбоку



Аналогичное давление испытывает и боковая поверхность стенки канавки.

При этом в каждый момент времени точка соприкосновения ролика со стенкой трубы и соответствующая ей точка соприкосновения стенки ребра оправки не будут иметь общего контакта, так как в каждой точке контакта касательные прямые между стенкой канавки на оправке и внутренней стенкой трубы относительно боковой плоскости ролика образуют постоянно меняющийся угол. Этот угол будет равен нулю только в пережиме очага деформации, когда касательная располагается параллельно плоскости ролика.

Величина зазора между поверхностью ролика 6 и стенками канавки профильной оправки 9 будет разной на протяжении всего создаваемого очага деформации. Зазор между одной стенкой паза оправки и поверхностью ролика будет отличаться от зазора между противоположной стенкой паза оправки и роликом в каждом сечении очага деформации.

Преимущества спирального профиля по отношению к замкнутому контуру гофров

1. Теплообменные трубы ($\alpha = 20 \div 45^\circ$)

Трубы являются основным элементом в теплообменных аппаратах. СПТ с углами закрутки менее $\alpha < 20^\circ$ можно сопоставить по теплофизическим характеристикам с продольно оребренными трубами или накатными трубами по ГОСТ 27590 «Подогреватели водо-водяные систем теплоснабжения» (трубная система профилированных труб), эффективность которых крайне низка.

Способы повышения эффективности теплопередачи могут решаться не только увеличением поверхности теплообмена, но и созданием условий для турбулизации поверхностных слоёв потока, контактирующего со стенкой трубного канала [5]. В табл. 1 представлены теплофизические показатели пассивных интенсификаторов третьего поколения [6], где R^0 – радиус описанной окружности профилированной части трубы.

Гидравлическое сопротивление и теплоотдача профильных труб увеличиваются по сравнению с «гладкими» трубами равного проходного сечения по зависимости:

$$\lambda = \frac{R_{исх}}{R_{эк.тр}} \cdot (1,3 \div 1,5) \cdot \lambda_{прод.эк.тр}, \quad (3)$$

Такие геометрические особенности не позволяют создавать симметричную относительно оси профиля ролика деформацию и добиваться контура гофров, отвечающего точному профилю паза оправки, так как контур гофра в данном случае возможен только в одном пережиме, что недостаточно для симметричной формовки металла, имеющего упругую область деформаций.

Угол разворота ролика β выбирается из [4]:

$$\beta = \frac{1}{2} \left[\alpha + \arctg \left(\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \left(\frac{z \cdot \operatorname{tg} \alpha}{r} \right) \right) \right], \quad (2)$$

где: β – угол разворота ролика относительно продольной оси трубы, α – угол наклона рёбер профильной оправки относительно продольной её оси, Z – длина участка формирования гофров на оправке до пережима, r – радиус оправки по вершинам рёбер.

$$N_u = \frac{R_{исх}}{R_{эк.тр}} \cdot (1,5 \div 1,8) \cdot N_{u_{прод.эк.тр}}, \quad (4)$$

где $R_{исх}$ – термическое сопротивление гладкого канала, $R_{эк.тр}$ – термическое сопротивление витого канала, $\lambda_{прод.эк.тр}$ – коэффициент гидравлического сопротивления, $N_{u_{прод.эк.тр}}$ – коэффициент теплоотдачи.

2. Сепаратор ($\alpha = 45 \div 65^\circ$)

Сепаратор предназначен для разделения газожидкостного потока, масляного, дымового тумана, капельной влаги, газового конденсата и механических присадок и прочего за счёт центробежных сил, вытесняющих более плотные частицы на периферию гофров. Основные характеристики сепаратора приведены в табл. 2.

Ниже приведён анализ работы сепаратора спирально-профильного (сепаратор СП) для осушки сжатого воздуха пневмосети кузнечного цеха (АО «СЭПО», г. Саратов) в зимнее время в условиях его включения при низкой уличной температуре воздуха после длительного перерыва (выходные, праздничные).

1. Изменение сопротивления потоку воздуха в нормальных условиях – число Рейнольдса для сопоставимой по объёму трубы (сот):

Таблица 1. Теплофизические показатели СПТ*

Кол-во гофров	Глубина гофр, h	Угол α	Применение по сравнению с гладкой трубой такого же проходного сечения и числа Re
6	$(0,08 \div 1,5) \cdot R^0$	$20 \dots 35^0$	увеличивает теплоотдачу в 1,2÷1,4 раза механизм разрушения пристенных слоёв жидкости, а в ряде случаев дополнительно обеспечивает локальную пристенную закрутку потока
2...6	$(0,2 \div 0,5) \cdot R^0$	$25 \dots 45^0$	увеличивает теплоотдачу в 1,56 раз, закрутку всего потока и разделение общего потока на ряд дискретных (3, 4, 5, 6), в зависимости от числа «заходности» с фиксированным углом закрутки потоков
12	$0,08 \dots 0,24 \cdot R^0$	$20 \dots 30^0$	повышает теплоотдачу до 2,1 раз относительно сопоставимой по объёму круглой трубы. С учётом дополнительного эффекта от закрутки потока суммарная теплоотдача может быть увеличена до 3,2 раза
12	$0,24 - 1,2 \cdot R^0$	$20 \dots 30^0$	увеличивает теплоотдачу до 1,56 раза относительно сопоставимой по объёму круглой трубы, а с учётом дополнительного эффекта от закрутки потока суммарная теплоотдача может быть увеличена в 2,3 раза
20÷24	$0,1 \cdot R^0$	$30 \dots 45^0$	обеспечивает максимально возможную теплопередачу свыше трех раз без увеличения гидравлического сопротивления

*Приведённые в табл. данные подтверждены теплотехническими испытаниями в ИМФ РНЦ «Курчатовский институт» [6].

Таблица 2. Технические характеристики сепаратора СП пневмосети сжатого воздуха

Наименование	Обозначение	Параметр
Материал	<i>сталь</i>	X18H10T
Количество труб	<i>шт.</i>	7
Число заходов гофр в каждой трубе, шт.	–	12
Высота гофры, мм	h	10
Внутренний диаметр входа СПТ, мм		111,2
Размер между параллельными гранями (под ключ)	b	98
Толщина стенки, мм	s	0,6
Исходный наружный диаметр, мм	D_n	112,4
Диаметр наружный (гофрированная часть трубы), мм	D	78
Диаметр внутренний (гофрированная часть трубы), мм	d_0	58
Длина гофрированной части, мм	L	690
Длина шестигранной законцовки, мм	l	110
Общая длина СПТ, мм	H	800
Угол подъёма винтовой линии, град.	α	45
Диаметры сопоставимой по объёму трубы (СОТ), мм	-	64,4 на 65,6
Соблюдены условия: объём жидкости гладкой трубы сопоставим с объёмом жидкости СПТ, с учётом коэффициента натяжения трубы (коэф. 1,2)		$s = \frac{112,4}{65,6} = 1,71$ $\frac{s(CIT)}{s(COT)} = 2,1$

$$Re_{COT} - 14 \cdot 32,22 = 45,1 \cdot g_{COT} (\text{см/с}). \quad (5)$$

2. При нормальных условиях и температуре 15°C, высоте гофры 10 мм – число Рейнольдса:

$$Re_{zof} - 14 \cdot 0,5 = 7 \cdot g_{COT} (\text{см/с}). \quad (6)$$

3. Скорость течения в расчёте на COT:

$$COT v_{COT} = \frac{Q}{S_{COT}} = \frac{Q}{32,56}. \quad (7)$$

Для гладкой цилиндрической трубы критическое число Re_{com} , при котором нарушается ламинарность течения, составляет $Re > 2300$, а при $Re > (15000 \div 20000)$ имеет место режим развитой турбулентности [6].

Значения ΔP при четырёх скоростях течения воздуха в нормальных условиях при температуре 25°...30°C приведены в табл. 3.

В первом приближении зависимость сопротивления от скорости g квадратичная. Наблюдается нестационарность показаний сопротивления, то есть величина ΔP непрерывно флуктуирует в приведённом в скобках диапазоне значений сопротивления.

В общем случае газодинамическое сопротивление рассчитывается по [7];

$$\Delta P = \frac{\xi \cdot \rho \cdot g^2}{2}, \quad (8)$$

где: ξ – коэффициент гидравлического сопротивления трубы, ρ – плотность газа.

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

Осаждение модельных частиц турбинного масла и воды в СПТ представлено в табл. 4.

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

$St = 0,00022$. Где $St = \frac{L}{D}$, $L = (t \cdot g_{com})$ – длина инерционного пробега частицы, d – характерный размер осадочного элемента, в качестве которого принимается

высота гофры 1 см; $t = \frac{d^2 \cdot \rho}{18 \cdot \eta}$ – характерное

время релаксации частицы диаметром d и плотностью ρ в газе с динамической вязкостью η ; для воздуха $\eta = 1,84 \cdot 10^{-4}$ пуаз, $\rho \approx 0,9$ г/см³.

Эффективное инерционное осаждение наблюдается при $St > 0,2 \dots 0,5$ (в зависимости от типа осадителя).

Таблица 3. Изменения давления при различных скоростях течения воздуха

V , см/с	5	9	12,3	20
ΔP	< 0,2	$0,6 \cdot \left(\begin{matrix} + \\ -0,2 \end{matrix} \right)$	$1,5 \cdot \left(\begin{matrix} + \\ -0,3 \end{matrix} \right)$	$5 \cdot \left(\begin{matrix} + \\ -0,5 \end{matrix} \right)$
Re	22300	40060	55500	89400

Таблица 4. Сепарационные характеристики СПТ

Диаметр частиц, мкм	Е, %	$C = \frac{N_0}{N}$, $C = -$ (кратность очистки)
Частицы турбинного масла диаметром $d = 0,2 \dots 0,3$ мкм	< 1,05	< 1,05
Частицы водного тумана диаметром $d = 50 \dots 80$ мкм	98	50

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

Исследование сепарационных характеристик СПТ показало, что грубодисперсные частицы водного тумана осаждаются достаточно эффективно, при этом число Стокса $St = 14,9$, то есть разработанные СПТ, могут быть рекомендованы для дальнейших исследований в качестве достаточно эффективного сепаратора грубодисперсного аэрозоля с размером частиц $d > 20 \div 30$ мкм.

3. Сильфон ($\alpha = 65 \div 85^\circ$)

Сильфон – упругая оболочка из металлических и композиционных материалов, предназначенная для компенсации угловых и радиальных смещений СП, а угол подъёма винтовой линии больше 85° – к необоснованному усложнению конструкции деформирующего инструмента – роликов и внутренней оправки.

Известно, что сильфоны в ракетостроении [8] работают в среде окислительного высокотемпературного газа (до 800°C) в условиях высоких давлений (до 60 МПа), с частотой качания законцовок относительно

создаваемым тепловым расширением и повышением давлений, вибрацией, вследствие динамических нагрузок.

Спирально-профильная форма гофров приводит к повышению механических характеристик сильфона, например упругости в продольном направлении и жёсткости на изгиб, которые обеспечиваются за счет спиралевидного желобкового канала, образованного в результате упругопластической деформации стенки трубной заготовки, что позволяет гофрам пружинить в осевом направлении и тем самым компенсировать линейное расширение труб при тепловых колебаниях энергоносителя.

Угол наклона винтовой линии меньше 65° приводит к неоправданному, с точки зрения конструктива, увеличению шага винтовой линии, следовательно, и длины рабочей части сильфона друг друга со сдвигом (до 10 Герц), с угловым разбросом (до 15°) и осевым растяжением-сжатием [9, 10].

Отметим, что вопросы о целесообразности замены гофров, расположенных под углом 90° и отделённых друг от друга перегородками, на сквозные, желобковые спирально-профильные требуют дополнительной экспериментальной проверки.

Выводы

1. Показано, что:
 - современное энергетическое оборудование (теплообменники, турбины, сепараторы, сильфоны и т.д.), использующее традиционные трубопроводы с перпендикулярными к оси трубы перегородками и разделёнными вершинами гофров для распределения потоков энергоносителей, не достаточно эффективно, так как замкнутые на себя вершины гофров, являющиеся собирателями примесных отложений соляных включений, являются причиной вихревых потоков, концентрирующихся в вершинах замкнутых гофров, что создаёт противоток, снижающий коэффициент полезного действия энергетических установок,

а при использовании сильфона в жидкостном ракетном двигателе гофры вершин являются собирателями окисных элементов (продуктов горения);

- создание на трубопроводе профиля со сквозными желобковыми спиральными каналами повышает долговечность работы и мощность энергетического оборудования за счёт устранения силового подпора, самоочищения сквозных каналов от примесных летучих элементов, содержащихся в транспортируемых потоках.

2. Предложено разработать опытно-промышленный прокатно-волочильный стан с приводной клетью для изготовления трубопровода СПТ.

Библиографический список

1. Вайцехович С.М. Профилирование длинномерных трубных изделий на прокатно-волочильном стане. // Технология машиностроения. – Москва, ISSN: 1562-322X. – 2022. – №11 (245). – С. 5–11.
2. Вайцехович С.М. Новая конструкция компенсатора расцентровки рабочих элементов прокатно-волочильного стана при изготовлении спирально-профильных труб // Заготовительные производства в машиностроении. – 2022. – Том 20, №9. – С. 408–413.

3. Вайцехович С.М. Кривенко Г.Г., Корнилов А.А. Спирально-профильные трубы: преимущества и перспективы применения в теплообменных аппаратах // *Технология машиностроения*. – 2011. – №12. – С. 31–37.
4. Вайцехович С.М., Власов Ю.В. Разработка технологии и оборудования для изготовления сильфонов со спирально-профильными сквозными гофрами // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2022. – Том 20, № 12. – С. 556–565.
5. Закрутка потока для повышения эффективности теплообменников: Всерос. конф. (Москва, 09-11.04.2002): Сб. тез. докл. / Орг. ком.: Полежаев Ю. В. (пред.) [и др.]. – М.: ОИВТ РАН, 2002. – 47 с.: ил.
6. Лебедев В.Н., Лебедев А.Н., Мишулин А.А., Вайцехович С.М., Овчинникова Г.А. Энергосбережение в энерготехнике и коммунальном хозяйстве. // *Международная научно-практическая конференция. Рациональное природопользование: ресурсо- и энергосберегающие технологии и их метрологическое обеспечение*, г. Петрозаводск, Республика Карелия. – М., 2004. – июнь. – С. 100–105.
7. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
8. Вайцехович С.М. Применение спирально-профильных труб в качестве гофрированной рабочей части сильфонов. // *НТЖ Вестник «НПО «Техномаш»*. – 2022. – №3 (20). – С. 4–7.
9. Технология сборки и испытаний космических аппаратов / И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов и др. / под общ. Ред. И.Т. Белякова, И.А. Зернова. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
10. Моисеев В.А. Технология производства жидкостных ракетных двигателей. / В.А. Моисеев, В.А. Тарасов, В.А. Колмыков и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 381 с.

Вайцехович Сергей Михайлович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»
Тел.: 8(495) 689-87-95. E-mail: ask-mlad@mail.ru
Vaitsekhovich Sergei Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Senior Research Officer, Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»
Tel.: 8(495) 689-87-95. E-mail: ask-mlad@mail.ru

Власов Юрий Вениаминович – канд. техн. наук, генеральный директор АО «НПО «Техномаш» им. А.С. Афанасьева».
Тел.: 8 (495) 689-26-12. E-mail: Y.Vlasov@tmnpo.ru
Vlasov Iurii Veniaminovich – Ph.D. in Engineering Sciences, CEO of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8 (495) 689-26-12. E-mail: Y.Vlasov@tmnpo.ru

УДК 629.7:005

Кузин А.И.
Kuzin A.I.

Методические предложения по оценке уровня конструктивно-технологического совершенства создаваемых (модернизируемых) средств выведения

Methodological proposals for assessing the level of structural and technological perfection of the built (upgraded) launch vehicles

В статье рассмотрен общий методический подход к оценке уровня конструктивно-технологического совершенства создаваемых (модернизируемых) средств выведения, основанный на совместном учете комплекса конструктивных и технологических составляющих процесса разработки проектных материалов перспективных средств доступа в космическое пространство. Предлагаемый методический подход может быть использован при проведении оценочных расчетов конструктивно-технологического уровня разрабатываемых изделий, в том числе при учете ограничений на их себестоимость.

The article considers a general methodological approach to assessment of the structural and technological perfection level of the built (upgraded) launch vehicles, based on the combined accounting of the structural and technological components of the development process of design materials for advanced means of access to outer space. The proposed methodological approach can be used in the assessment of the design and technological level of developed products, including the limitations on their cost.

Ключевые слова: средства выведения, методический подход, учет конструктивно-технологических факторов, проектирование средств выведения под заданную стоимость.

Keywords: removal tools, methodological approach, consideration of design and technological factors, design of removal tools for a given cost

В настоящее время в отечественных высокотехнологических отраслях промышленности, в том числе и в ракетно-космической отрасли, все более широкое применение находят методы проектирования ракет-носителей (РН), космических аппаратов, жидкостных ракетных двигателей и других объектов ракетно-космической техники (РКТ) с учетом ограничений по стоимости их промышленного производства. Этот факт объясняется не только влиянием рыночных условий, но и необходимостью оптимизации затрат на реализацию государственных космических программ и отдельных проектов. Существующие подходы к созданию методологии разработки сложных изделий при ограничениях на их конечную стоимость в большинстве случаев базируются на учете и совместной оптимизации двух базовых факторов, определяющих, в том числе и экономические характеристики нового изделия РКТ: конструктивная сложность изделия и технологичность его промышленного производства [1]. Важно отметить,

что влияние этих факторов проявляется неравномерно на этапах жизненного цикла вновь создаваемого изделия РКТ. Практика показывает, что до 85% конечной себестоимости изделия закладывается в конструкторских и технологических решениях на начальных стадиях проектирования (фаза технических предложений и эскизного проекта) и лишь 15% себестоимости формируется на более поздних этапах разработки и освоения серийного производства.

Ниже рассмотрены предложения по учету конструктивных и технологических факторов, влияющих на технико-экономическую эффективность производства средств выведения.

Вводится понятие «показатель конструктивно-технологического совершенства средства выведения (СрВ)»:

$$P = \alpha P_{\text{констр}} + (1 - \alpha) P_{\text{технол}}, \quad (1)$$



$$P_{\text{констр}} = \frac{1}{n_{\text{ДСЕ}} + n_{\text{ст.пар}}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{технол}} = \frac{1}{n_{\text{т.техн}} + n_{\text{тех.проц}}}, \quad (3)$$

где: n – общее количество сборок, стыкуемых пар, типов технологий и технологических процессов, относящихся к деталям и сборочным единицам (ДСЕ) первого уровня; α – коэффициент значимости частного показателя конструктивно-технологического совершенства.

Общая зависимость, иллюстрирующая влияние сложности конструкции современных РН на трудоемкость их изготовления, представлена на рис. 1. При формировании представленной зависимости в качестве показателя, характеризующего сложность конструкции РН, использовалось количество дета-

лей и сборочных единиц первого уровня (ДСЕ первого уровня), входящих в состав конечного изделия. Принципиально подобные зависимости могут быть получены (при наличии информации) и по другим уровням конструктивных элементов РН.

К ДСЕ первого уровня относятся крупные сборки, поступающие на финишное производство (окончательную сборку и последующие комплексные испытания). Применительно к средствам выведения (РН), к ДСЕ первого уровня следует отнести жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ), баки горючего и окислителя, переходные отсеки, внутрибаковые устройства, донную защиту, систему управления, аэродинамические устройства (при наличии), адаптеры полезной нагрузки, головные обтекатели, специальную арматуру, крепежные элементы и др.

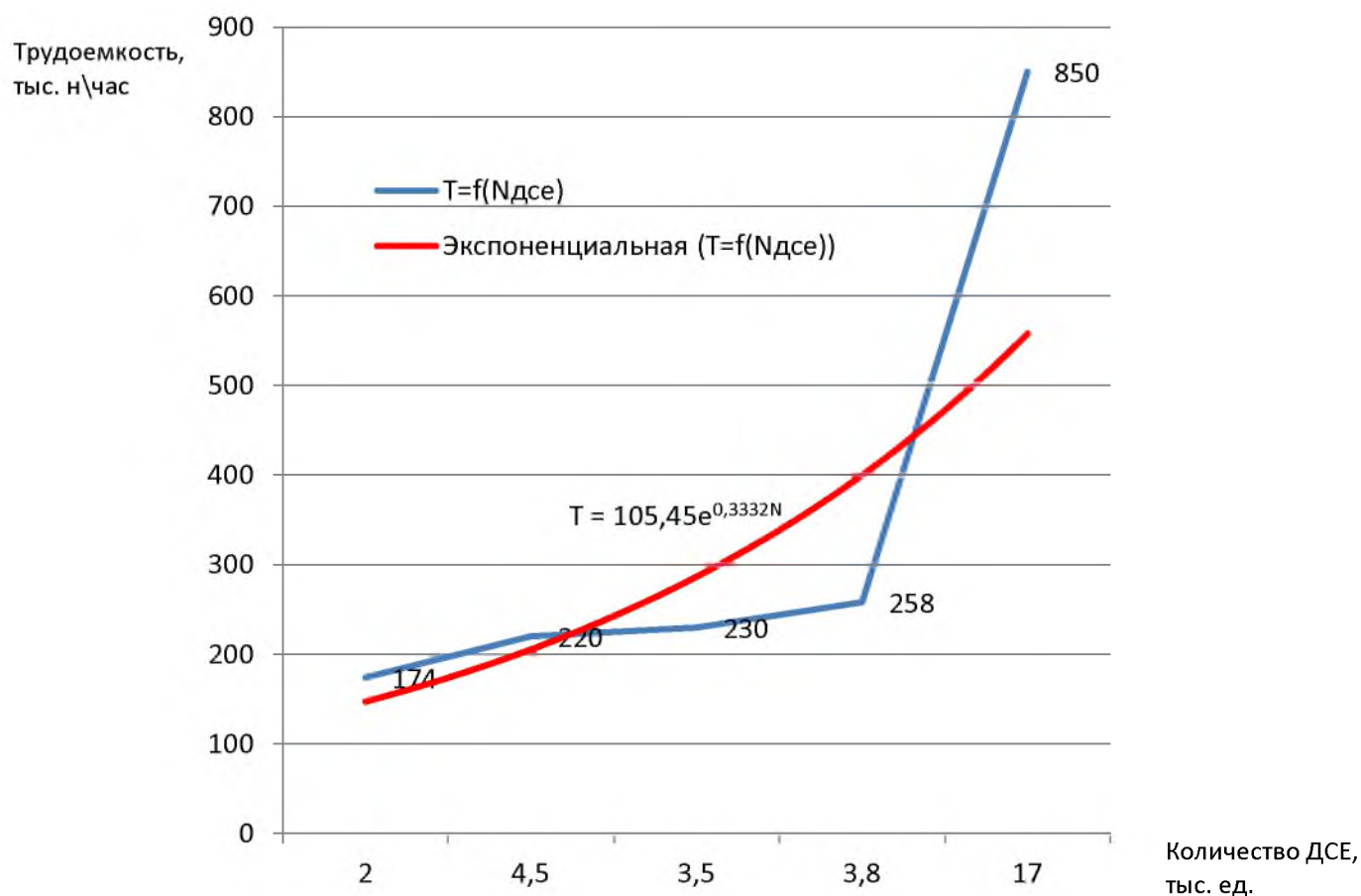


Рис. 1. Зависимость трудоемкости от количества деталей и сборочных единиц изделия

ДСЕ второго уровня – элементы и детали, используемые для производства ДСЕ первого уровня.

Вместе с тем количество ДСЕ не только не отражает в полной мере конструкционной сложности конечного изделия, но и оставляет без внимания технологическую сложность производства ДСЕ. В связи с этим, наряду с введением показателя конструкционной сложности РН $P_{констр}$ (1), представляется целесообразным введение технологической компоненты обобщенного коэффициента конструктивно-технологического совершенства РН. Именно с этой целью в вышеприведенной формуле присутствует величина $P_{технол}$.

Для обеспечения сравнимости получаемых результатов оценки необходимо использовать систему частных показателей в относительном виде, например выбрав в качестве базы сравнения РН с набором характеристик, отражающих современный технологический уровень. Такой подход позволит обеспечить получение сравнимых количественных оценок, что необходимо для проведения дальнейшей оптимизации конструкции РН и технологий их производства.

Рассмотрим числовой пример, наглядно иллюстрирующий предлагаемый подход (табл. 1).

Примем величину $\alpha=0,5$.

Результаты расчета по приведенной выше формуле с учетом того, что в качестве базы выбрана РН-1, представлены в табл. 2.

С учетом выбранных исходных данных наименьшим значением показателя конструктивно-техно-

логического совершенства обладает РН-5, что объясняется значительными отличиями от других РН в количестве деталей и сборочных единиц, стыкуемых пар, типов технологий и количестве технологических процессов, применяемых при изготовлении РН. Необходимо уточнить, что для корректности выводов о конструктивно-технологическом уровне необходимо принимать во внимание размерность и класс грузоподъемности сравниваемых РН.

Представляет интерес оценка взаимосвязи полученного комплексного коэффициента конструктивно-технологического совершенства и трудоемкости изготовления РН (рис. 2). Приведенная ниже зависимость носит иллюстрационный характер, поскольку исходные данные, заложенные при вычислении коэффициента P , выбраны экспертно и требуют детализации и уточнения с учетом характеристик реальных изделий.

Полученная зависимость трудоемкости изготовления РН от коэффициента конструктивно-технологического совершенства может быть использована в процессе оптимизации конструктивно-технологических характеристик создаваемых (модернизируемых) РН, в том числе и для определения прогнозируемой себестоимости (C) нового изделия, поскольку существует прямая зависимость трудоемкости изготовления РН и ее себестоимости изготовления. В качестве модели себестоимости РН могут быть использованы приведенные зависимости [2]:

Таблица 1. Исходные данные

	$n_{ДСЕ}$, ед.	$n_{ст.пар}$, ед.	$n_{т.техн}$, ед.	$n_{тех.проц}$, ед.
РН-1	2000	4000	10	2500
РН-2	4500	10000	12	4700
РН-3	3500	7500	15	4000
РН-4	3784	7800	17	4200
РН-5	17047	20000	21	20500

Таблица 2. Результаты расчета

	$n_{ДСЕ}$, ед.	$n_{ст.пар}$, ед.	$n_{т.техн}$, ед.	$n_{тех.проц}$, ед.	P
РН-1	1	1	1	1	0,5
РН-2	2,25	2,5	1,2	1,88	0,27
РН-3	1,75	1,88	1,5	1,6	0,3
РН-4	1,89	1,95	1,7	1,68	0,29
РН-5	8,52	5,0	2,1	8,2	0,09



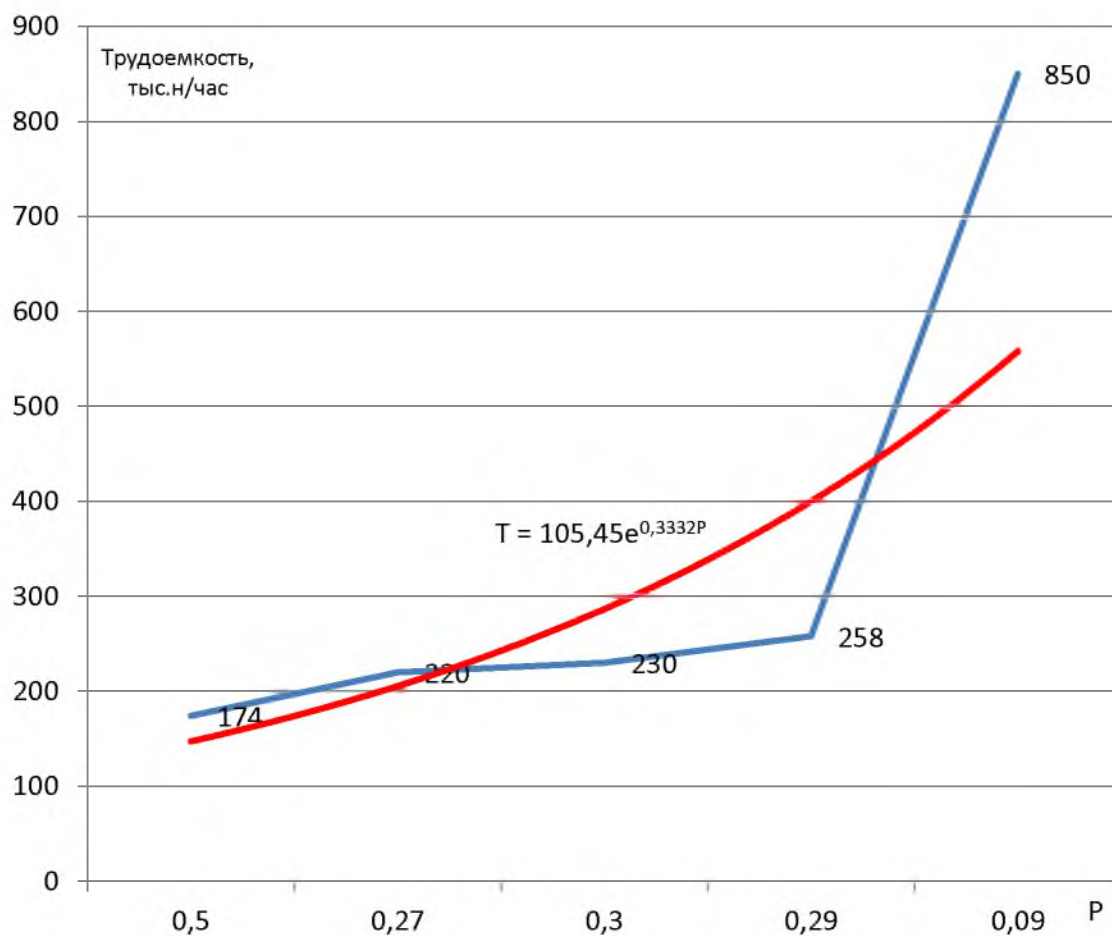


Рис. 2. Зависимость трудоемкости изготовления РН от коэффициента конструктивно-технологического совершенства

Обобщенный алгоритм оптимизационной процедуры представлен на рис. 3.

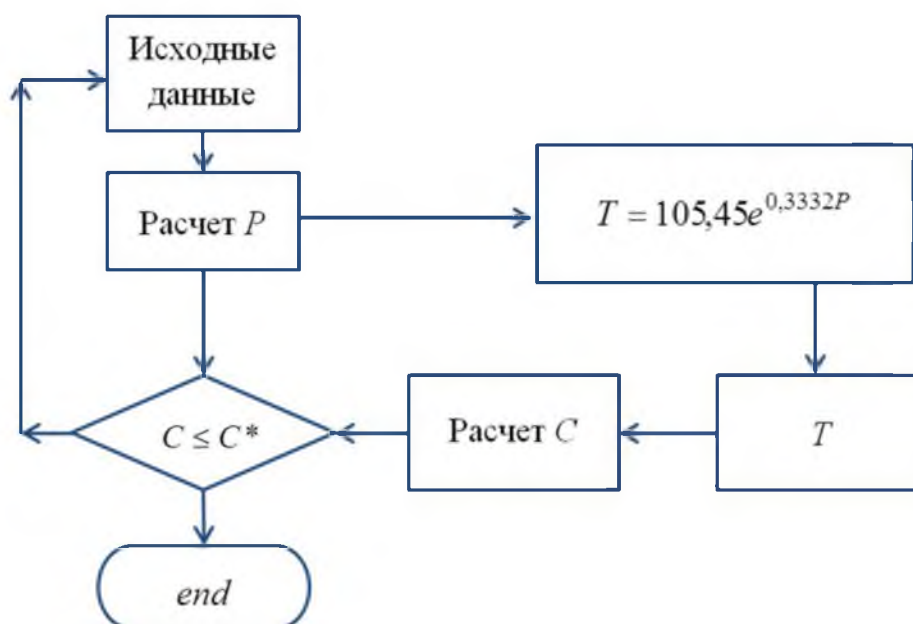


Рис. 3. Алгоритм учета конструктивно-технологических параметров при проектировании с ограничением по стоимости изделия

$$C = (C_{mp} + C_M) k_{np.p} k_N, \quad (4)$$

$$C_{mp} = k_{фом} \sum (T_i Z_i), \quad (5)$$

$$C_M = \sum \left(G_{заг} \frac{M_i}{КИМ} \right), \quad (6)$$

где: C_{mp} – компонент себестоимости, зависящий от трудоемкости; C_M – компонент себестоимости, зависящий от материалоемкости; $k_{np.p}$, k_N – коэффициенты, учитывающие прочие расходы и серийность; $k_{фом}$ – коэффициент, учитывающий суммарную величину обязательных платежей, начисляемых на базе ФОТ; T_i , Z_i – трудоемкость и стоимость единицы трудоемкости; $G_{заг}$, M_i – масса и цена материала заготовки; $КИМ$ – коэффициент использования материала заготовки.

Цикл проектно-технологических проработок выполняется до момента удовлетворения неравенству условного оператора.

Направления проработок связаны с упрощением конструкции РН (снижение числа ДСЕ, стыковочных узлов) и снижением количества (упрощением) применяемых технологических процессов.

Предлагаемая методика может быть использована не только для априорного анализа и прогнозирования себестоимости перспективных РН, но и для сравнительного анализа различных вариантов системы средств выведения (совокупности СрВ различных классов) при оценке технико-экономической эффективности программ целевого использования средств доступа в космическое пространство в рамках государственных и федеральных целевых программ.

Библиографический список

1. Амиров Ю.Д. Технологичность конструкции детали. Библиотека конструктора. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
2. Зобнин В.А. Разработка методики проектирования под заданную стоимость. Сборник трудов VIII Форума Российского вертолетного общества. Секция – Проектирование и конструирование вертолетов. – М.: МАИ, 2008. – 20 с.

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

Тел.: +7 (499) 689-50-66.

E-mail: info@tmnpo.ru

Kuzin Anatolii Ivanovich – Ph.D. in Engineering, Advisor to the CEO of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7 (499) 689-50-66.

E-mail: info@tmnpo.ru



УДК 621.7:658

Пантелеев К.Д.
Panteleev K.D.

Особенности и основные задачи развития производственной системы ракетно-космической промышленности России

Features and main challenges in the development of the Russian aerospace industry's production system

Рассмотрены тенденции и структурные проблемы развития, сформулирована общая постановка задач реорганизации производственной системы ракетно-космической промышленности России. Предложены направления формирования новой производственной системы для решения задач ускоренного перехода к новой индустриальной модели космической отрасли. Показана необходимость разработки концепции, методологии и стратегии проектирования производственной системы.

The tendencies and structural problems of development are considered, and a general statement of reorganising the production system of the Russian aerospace industry is formulated. The article proposes directions for the formation of a new production system to meet the challenges of an accelerated transition to a new industrial model for the space industry. The need to develop a concept, methodology and strategy for the design of a production system is shown.

Ключевые слова: производственная система, промышленные технологии, ракетно-космическая техника, стратегическое и программно-целевое планирование, научно-технологический задел, проектное управление, система конструкторско-технологических решений.

Keywords: production system, industrial technologies, aerospace equipment, strategic and programme-oriented planning, scientific-technological practices, project management, design-process solution system.

Введение

На сегодняшний день одной из главных причин, сдерживающих экономический рост в России, является недостаточная сбалансированность мер по реорганизации наукоемких отраслей машиностроения. Модернизация производства как некапиталоёмкий способ повышения производительности и качества представляется одним из наиболее доступных и перспективных источников роста конкурентоспособности отечественной промышленности.

Рыночная экономика характеризуется многообразием, интенсивностью и динамикой изменений взаимосвязей между предприятиями. При этом рост конкуренции требует от предприятий повышения эффективности форм и способов взаимодействия. В связи с этим появляется множество интеграционных образований (объединений предприятий, составных частей предприятий), различающихся структурой и механизмами управления. Переход от макроэкономической стабилизации к реальному экономическому росту требует адресных мер

по организационно-технологической модернизации промышленности согласно требованиям рынка применительно к конкретным отраслям, интегрированным структурам и предприятиям. Конкурентоспособность наукоемких отраслей машиностроения особо зависит от эффективности взаимодействия предприятий, задействованных в едином цикле создания, производства и реализации сложных технических систем (СТС).

В настоящее время получила развитие принципиально новая форма взаимодействия субъектов производственной деятельности в виде интегрированных структур, элементы которых представляют собой как комплексы (группы) предприятий, так и составные части предприятий в виде бизнес-процессов, технологий или производств, объединяемые по различным моделям и направлениям [1]. При этом, как правило, происходит не только формальное иерархическое подчинение или слияние предприятий в рамках общей модели производ-



ственной деятельности, но и формирование единого организационно-технического механизма их взаимодействия друг с другом, позволяющего при сохранении необходимого статуса каждого из участников (юридического лица, функционального подразделения и пр.) создавать конкурентоспособные изделия.

В данном контексте при адаптации наукоёмкой промышленности России к условиям рынка, формировании сбалансированных межрегиональных, региональных и местных интегрированных производств решающее значение имеют способы реорганизации и формирования новых видов производственных систем. Под производственной системой (ПС) понимается комплекс взаимосвязанных производственных процессов, основных средств, персонала и инструментов управления, реализуемых в организационной форме промышленного предприятия в целях производства определенных видов продукции или услуг для нужд заказчика. При этом ПС рассматривается как организационно-техническая система (ОТС), входящая в состав предприятия, т.е. организационно-хозяйственной структуры, осуществляющей производственную деятельность по созданию и сбыту определенной номенклатуры продукции или оказанию услуг.

Следует отметить, что в настоящее время интеграция предприятий происходит в условиях неполноты или фрагментарности методического, нормативного и программно-модельного обеспечения этих процессов. Вследствие этого федеральные, региональные, отраслевые программы реорганизации промышленности в последние десятилетия реализовывались без должного уровня координации. Темпы формирования межрегиональных промышленных комплексов и групп, отраслевых вертикально интегрированных структур, реструктуризации и развития производств предприятий оказались недостаточными для обеспечения ускоренного экономического роста. Такая тенденция во многом объясняется неполнотой практического опыта и методических знаний при формировании эффективных ПС в новых экономических условиях.

В данном контексте особую актуальность приобретают теоретические и практические проблемы создания модели и организационно-технического механизма планирования производственной деятельности предприятий наукоемкого машиностроения, главным образом, формирования, реструк-

туризации и эффективного функционирования интегрированных ПС.

В настоящей статье рассматривается проблематика реорганизации ПС применительно к одной из базовых и наиболее сложных отраслей наукоемкого машиностроения и оборонно-промышленного комплекса (ОПК) России – ракетно-космической промышленности (РКП).

Государственная политика Российской Федерации в области космической деятельности ориентирована на создание отечественной конкурентоспособной ракетно-космической техники (РКТ) в интересах социально-экономической сферы, науки, обороны и обеспечения конкурентоспособности российских изделий РКТ на международных рынках [2, 3]. Для достижения основных целей повышения эффективности национальной космической деятельности, таких как своевременное выполнение государственного и оборонного заказа, а также достижения показателей Стратегии развития Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на период до 2025 г. и перспективу до 2030 г. (далее – Стратегия Госкорпорации «Роскосмос») на современном этапе ставится задача реорганизации ПС РКП [4].

Очевидно, что одновременное достижение указанных целей сопряжено с необходимостью преодоления конфликта интересов и проведения институциональных изменений в управлении ПС РКП [5]. В настоящее время эта задача в РКП решается путем развития интегрированных структур (корпораций), объединяющих предприятия, связанные отношениями собственности и единой объектной ориентацией деятельности по обеспечению создания определенных классов систем РКТ.

На сегодняшний день организации Госкорпорации «Роскосмос» представлены, главным образом, интегрированными структурами (далее – ИС), обладающими значительным инновационным потенциалом и обеспечивающими потребности государства как в результатах космической деятельности, так и в увеличении доли гражданской продукции на предприятиях ОПК до 30 % к 2025 году и до 50 % к 2030 году [4].

Необходимо отметить, что качество корпоративного строительства в РКП экспертами оценивается как недостаточное для обеспечения качества и надежности создаваемых изделий РКТ, а также конкурентоспособности предприятий, разрабатывающих и производящих космические средства. Пока произо-



шло формальное создание ИС без повышения уровня эффективности моделей и механизмов управления ими [1]. При этом анализ показателей технического уровня производств и их загрузки у основных ИС РКП показывает отставание от мирового уровня [4]. Кроме того, доля производственно-технологического оборудования, установок и стендов экспериментально-испытательной базы возрастом более 20 лет в настоящее время составляет более 50 % [6, 7].

Вместе с тем, начиная с 2017 года, трансформация структуры экономики России обеспечивается за счет цифровизации и развития сквозных технологий в высокотехнологичных производствах ОПК. В целях повышения эффективности производственной деятельности предприятий ОПК реализуются комплексные программы ускоренной цифровизации, диверсификации, экспортноориентированного импортозамещения, дальнейшей консолидации ресурсов в высокотехнологичных производствах с привлечением государственного и частного капитала. Необходимость выпуска конкурентоспособной продукции требует от компаний ОПК обеспечить переход от традиционных индустриальных моделей к новым, дальнейшую оптимизацию их ПС, цифровизацию производственных процессов [5].

В целях обеспечения конкурентоспособности России на рынке космических услуг на первом этапе руководством Госкорпорации «Роскосмос» поставлена задача ускоренного перехода к новой индустриальной модели производства автоматических космических аппаратов (КА), которые являются основой различных космических систем. Для решения данной задачи необходимо формирование новой ПС крупносерийного многономенклатурного производства КА с тактом выпуска одного изделия в сутки [8].

Также необходимо особо подчеркнуть о начавшемся переходе РКП к новой парадигме своего

развития от стадии создания, производства, эксплуатации (применения) космической техники и развития производственной системы (профильной инфраструктуры) космической отрасли к стадии создания результатов космической деятельности непосредственно в космическом пространстве, использования (эксплуатации) космических средств производства заказчиком (собственником) и развития орбитальной производственной системы, включая технологии обслуживаемого космоса [9].

Преодоление существующих и грядущих проблем, решение поставленных задач стратегического развития требует реорганизации и формирования новых эффективных ПС РКП на основе совершенствования модели и организационно-технического механизма управления их развитием. Также необходимо отметить, что в условиях ужесточения международной конкуренции на рынке космических услуг, развития прорывных систем вооружений, угрозы прямого военного конфликта на фоне развертывания военной инфраструктуры стран НАТО у границ Российской Федерации и пр. ответственность Госкорпорации «Роскосмос» за своевременное упреждающее создание и развертывание производств опережающих мировой уровень космических систем и отработку мобилизационных планов развертывания эффективных ПС РКП возрастает многократно.

Совершенствование методологии, нормативного и программно-модельного обеспечения формирования перспективных ПС для ускорения перехода к этапу устойчивого экономического роста за счет создания новой индустриальной модели РКП в условиях ужесточения международной конкуренции и глобальных военных угроз представляется крупной научно-технической задачей, имеющей важное государственное значение.

Тенденции, структурные проблемы развития космической отрасли на современном этапе и системный подход к созданию новой производственной системы

В настоящее время РКП занимает на рынке производства РКТ достаточно устойчивые позиции, уступая только конкурентам из США и Европы. Вместе с тем в отрасли достигнуты пока только краткосрочные конкурентные преимущества по отдельным направлениям, тогда как по ряду технологий, материалов космического применения, электронно-компонентной и элементной базе имеет место отста-

вание от основных конкурентов [1]. Программы развития перспективных изделий РКТ не обеспечены в достаточном количестве отечественным технологическим оборудованием и средствами технологического оснащения мирового уровня, не в полной мере развиты инфраструктура, кооперационные связи предприятий и головных научно-исследовательских организаций (ГНИО) [4].

В 90-х годах прошлого века единая система планирования отраслей ОПК с выстроенными кооперационными связями для выполнения госзаказа Министерства обороны заменена на совокупность целевых программ и контрактную систему госзакупок.

Поскольку в РКП замена отработанной модели планирования создания и производства перспективных космических средств (КС) на зарубежную модель контрактной системы не обеспечена эффективным организационно-техническим механизмом управления производственной деятельностью предприятий, то по факту контрактная система стала серьезным препятствием развития отрасли в целом [5]. При этом взаимное несоответствие зарубежной модели контрактной системы и единого порядка создания РКТ, разработанного в советский период, породило структурные противоречия в ПС РКП, которые повлекли за собой серьезную деформацию, а в ряде случаев разрушение системы выстроенных кооперационных связей в технологических цепочках разработки и производства конечного продукта на стратегическом и тактическом уровнях.

В РКП как обособленно развивавшейся отрасли наукоемкого машиностроения и пока еще слабо интегрированной в единую систему народного хозяйства имеются следующие показатели производственной деятельности: доля контрактов за счет бюджетных средств – 75,8%, за счет средств коммерческих заказов – 24,2% из них 96% изделия РКТ. Отсутствие частных инвестиций привело к высокой себестоимости продукции, низкой загрузке оборудования, росту устаревшего оборудования и т.д., как следствие, падению промышленного производства и количества пусков [4,5].

О неэффективности управления ПС РКП в рамках существующей модели говорят итоги деятельности Госкорпорации «Роскосмос» за предыдущие годы [4, 8].

В Стратегии Госкорпорации «Роскосмос» установлены плановые показатели создания новой ПС РКП [4]:

- сокращение сроков разработки и постановки производства РКТ в два раза;
- сокращение производственных площадей к 2030 г. – на 20÷25 %;
- уменьшение парка металлорежущего оборудования с 46 000 единиц в 2016 г. до 25 000 единиц к 2030 г.;

– доведение доли оборудования возрастом до 10 лет к 2030 году до 56-60%;

– увеличение производственной загрузки предприятий с 55% до 70–80%.

Для создания новой отраслевой ПС необходимо учитывать существенно отличающую от зарубежных бизнес-моделей уникальную особенность модели системы управления российской космической отраслью, состоящей в одновременном выполнении Госкорпорацией «Роскосмос» функций государственного заказчика и исполнителя [5].

Создание новой ПС для эффективного управления развитием космической отрасли, в том числе решения проблемы баланса конфликта интересов заказчика и исполнителя, диктует необходимость применения системного подхода и внедрения автоматизированной системы на основе динамической модели и организационно-технического механизма планирования производственной деятельности РКП [4, 5, 9, 10, 11,12].

Таким образом, организационно-технический механизм в рамках динамической модели управления производственной деятельностью РКП рассматривается как иерархически упорядоченная по уровням управления система основных функциональных элементов ПС (субъектов, исполнителей и объектов управления, концептуальных принципов, методов, методик, моделей, инструментов и т.п.) и способов координации их взаимодействия, включая интеграцию и дезинтеграцию, в ходе реализации которых балансируются и согласовываются решения субъектов управления проектами (институтов генеральных конструкторов, руководителей приоритетных технологических направлений, совета главных технологов отрасли и представителей государственных заказчиков в рамках соответствующих проектных задач на различных стадиях жизненного цикла изделий РКТ) с решениями субъектов управления развитием производственной деятельности (руководителей предприятий, профильных департаментов и руководства Госкорпорации «Роскосмос») в рамках программ развития ПС РКП.

Организационно-технический механизм в рамках динамической модели управления производственной деятельностью должен генерировать необходимые и достаточные условия для сбалансированного формирования программ создания изделий РКТ и развития профильных производств, образующих



новую ПС в рамках изменений индустриальной модели отрасли, посредством организации междуровневого взаимодействия моделей мероприятий системы технологического обеспечения разработки и производства изделий РКП, создания профильных и единой систем информационных массивов «уточняющихся рядов» конструкторско-технологических решений (КТР), системы критериев оценки эффективности организации ПС, координации межведомственных и межотраслевых связей, технологически сопряженных с РКП отраслей и производств, актуализации действующих и разработки новых документов стратегического планирования производственной деятельности Госкорпорации «Роскосмос», выявления имеющихся недостатков в действующей методической, программно-модельной и нормативно-правовой базе.

Организационно-технический механизм планируется в будущем как связующая основа системы типовых мероприятий и процедур, обеспечивающей итеративный процесс согласования плановых расчетов в триаде «качество-затраты-выпуск» на всех уровнях управления ПС РКП для выхода на запланированную траекторию развития, включающий формирование и выбор эффективных вариантов ПС и корректировку значений целевых показателей в зависимости от производственных возможностей.

Таким образом, управление процессом формирования ПС РКП на основе динамической модели и организационно-технического механизма с применением современных методов информатизации и цифровизации позволит осуществить переход от ручного управления проектами и производственной деятельностью предприятий космической отрасли к автоматизированному (большой технико-экономической киберсистеме), значительно повышающему эффективность управленческих решений, а в ближайшей перспективе – к цифровому на основе виртуальных имитационных моделей. При этом данная модель в качестве ядра проактивного, а точнее кибернетического, искусственного интеллекта (ИИ) в управлении новой ПС РКП (большой технико-экономической киберсистемы) обеспечит реализацию итеративного процесса конструирования будущего – генерацию, сбор, передачу, обработку и мониторинг данных для выхода на траекторию роста.

Этот же подход лежит в основе создаваемой в стране цифровой экономики или нынешнего ана-

литического ИИ, обслуживающего сценарии глобальных экономических кризисов [5, 8, 9]. Предложенная модель организационно-технического механизма предполагает реализацию принципа неопределенности, согласно которому процесс нахождения эффективной траектории развития означает одновременно поиск и корректировку целей развития. Стоит отметить, что при разработке организационно-технического механизма целесообразно учитывать уникальную особенность процесса управления формированием ПС РКП.

Наряду с особенностями функционирования, общими для всех отраслей наукоемкого машиностроения, РКП обладает принципиальным отличием в формировании ПС на ранних стадиях жизненных циклов изделий РКП, таких как техническое предложение (ТП), эскизный проект (ЭП) и разработка документации на опытные изделия (РДОИ).

Под жизненным циклом изделий РКП (ЖЦИ РКП) понимается упорядоченная во времени совокупность взаимосвязанных проектных конструкторских, технологических и производственных работ, выполняемых предприятиями-исполнителями на основе технических заданий по всем стадиям жизни изделия вплоть до целевого использования или утилизации.

Технические задания (ТЗ) на проектирование систем по производству РКП создаются с учетом выполнения постоянно увеличивающихся требований к технико-баллистической готовности, качеству и надежности этой техники в экстремальных условиях ее эксплуатации и не имеют аналогов в других отраслях машиностроения.

Формирование, согласование и выбор наиболее эффективных вариантов ПС РКП осуществляются в условиях неполноты или полного отсутствия информации на ранних стадиях ЖЦИ РКП, сопряжены с максимальным объемом вариантов решений и, вследствие этого, требуют беспрецедентных затрат времени и средств на научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические разработки, инновации, техническое перевооружение и замену основных производственных фондов (ОПФ), в первую очередь, дорогостоящих средств технологического оснащения (СрТО).

В опытном производстве РКП темпы обновления активной части основных производственных фондов достигают 30–40% в год [12]. С ростом

номенклатуры деталей и сборочных единиц в изделии РКТ затраты времени и средств существенно увеличиваются. К примеру, срок запуска в серийное производство ракеты-носителя (РН) с ракетным двигателем на твердом топливе при номенклатуре $n=1000$ единиц составляет 6–8 лет, РН с жидкостным двигателем при $n=10000$ единиц – 10–12 лет, РН «Энергия» $n=2 \times 100000$ – 17 лет. При этом 30% времени ранних стадий занимают разработка конструкции, а остальные 70% – проектирование технологии и ПС. Поэтому в РКП ПС опытного производства по затратам на капитальное строительство, обновление средств технологического оснащения, интенсивности изменений конструкторских, технологических и производственных решений, как правило, превосходят ПС серийного производства, эксплуатации и утилизации.

Кроме того, в РКП традиционно имеет место особая жесткая зависимость стадий серийного производства, эксплуатации и утилизации от ранних стадий ЖЦИ РКТ. Изделия РКТ допускаются к серийному производству только после директивного утверждения результатов многократных и дорогостоящих натурных испытаний опытных образцов изделий.

Таким образом, принципиальное отличие РКП от других отраслей заключается в том, что формирование ПС на ранних стадиях ЖЦИ РКТ имеет

приоритетное значение по затратам и длительности исполнения, а также по степени влияния на последующие стадии. При этом необходимо отметить, что формирование ПС является завершающим в системе проектных задач технологического обеспечения создания и производства КС, интегрирует и координирует КТР по системе критериев «качество-затраты-выпуск» на разных уровнях управления РКП по стадиям ЖЦИ РКТ, является определяющим в итоговой оценке сроков и затрат программ производства КС. При этом именно на формирование ПС РКП приходится самая значительная доля затрат и требуется наиболее продолжительный цикл. Следовательно, проблема повышения эффективности формирования ПС создания космических средств является определяющей для достижения требуемого уровня эффективности производственной деятельности РКП в целом.

С учетом изложенного в отличие от подходов других авторов Проблема повышения эффективности формирования перспективных ПС РКП рассматривается в настоящей статье не фрагментарно, начиная со стадии подготовки серийного производства, что отличает ее от подходов других авторов, а как единая по ЖЦИ РКТ в целом, от стадии ТП до сдачи изделий заказчику, применительно к любым типам производства и видам технологии.

Основные вопросы стратегии формирования производственной системы космической отрасли

Как уже отмечено, под ПС РКП понимается организационно-техническая система, располагающая ресурсами информационного обеспечения процессов создания и постановки на производство изделий РКТ, технического перевооружения необходимой производственно-технологической базы, оперативного управления ходом производства, а также составом технологического оборудования и средств технологического оснащения. При создании ПС решаются задачи формирования технологической (ТС), организационно-технологической (ОТС), производственно-технической систем (ПТС), а также системы управления (СУ) ПС, разработки методик автоматизированного проектирования, обеспечивающих возможность информационной подготовки производства и оперативного управления процессом функционирования ПС [11, 12, 13, 14, 15, 16].

Для выработки сбалансированной стратегии формирования опережающих перспективных ПС РКП целесообразно руководствоваться концептуальными принципами безусловной эффективности и преемственности создания («работы от достигнутого»). Сущность принципа безусловной эффективности состоит в том, что формируемая ПС РКП должна быть оптимальной относительно заданного надсистемой состава показателей целевой эффективности, затрат, надежности, трудоемкости. При этом многокритериальная задача создания ПС формулируется как однокритериальная, оптимальная в смысле критерия эффективности, сформированного на основе цели, установленной надсистемой, при задании ограничений на другие показатели [17, 18].

При этом возможны две альтернативные стратегии создания ПС РКП:



– создание ПС осуществляется по аналогии (в случае если может быть найден аналог ПС);

– создание ПС осуществляется путем выбора оптимального варианта из множества допустимых (в случае отсутствия ПС-аналога).

Также не менее важным при создании ПС РКП является принцип «работы от достигнутого», соблюдение которого обеспечивает научно-техническую преемственность при создании ПС, создает гарантии органичности, взаимозависимости, обоснованности сбалансированного развития составных частей ПС и методов их создания, защищая от ничем не обоснованных скачков в развитии методов создания ПС, волюнтаризма в научно-технической политике. Принцип требует, чтобы при создании ПС РКП учитывались условия конкретных, сложившихся в данный момент состояний политико-экономической среды, научно-технической и организационно-производственной культуры.

И когда речь идет о создании или совершенствовании ПС РКП, то всегда следует отталкиваться от организационно-технологической, экономической и технической реальности. Любые попытки пренебрежения системным подходом и приведенными принципами при создании ПС чреваты отрицательными последствиями. Слепое копирование опыта, пусть даже и успешного, в области автоматизации производственных процессов при частной или комплексной автоматизации, в других условиях не приводило и не может привести к положительному результату именно по этой причине.

Установки на копирование «достижений» мировых фирм без соответствующих преобразований в сферах производственно-технической, экономической, социально-политической чреваты негативными последствиями и в методологическом отношении недопустимы. Нельзя создать обособленные составные части с высокой организацией производства и на этой основе высокоавтоматизированные производства в ПС с недостаточным уровнем организационного и производственно-технического развития, научной и технической зрелости, поскольку это противоречит принципам преемственности и работы от достигнутого. Принцип безусловной эффективности требует эффективных создаваемых ПС, что в свою очередь предопределяет необходимость разработки методов синтеза множества альтернативных вариантов ПС и форми-

рования перечня критериев выбора оптимального варианта.

Как отмечалось ранее, создание сложных автоматизированных ПС РКП дело трудоемкое и дорогое, а потому совершенно неприемлемо положение, когда сроки разработки ПС и ее внедрение являются длительными. Чем сложнее и дороже система, тем быстрее она должна вступать в эксплуатацию, что гарантирует получение эффекта за период эксплуатации до наступления морального старения системы. Длительные сроки создания и внедрения ПС РКП – важнейший фактор ее морального старения еще на этапе ее создания. Соответственно, необходимо разрешить противоречие, заключающееся в том, что чем дороже и сложнее ПС, тем быстрее она должна быть пущена в эксплуатацию.

В представленной работе предлагается семь взаимодополняющих направлений разрешения указанного противоречия.

Первое направление – создание адекватной задачи развития производственно-технологической базы. Совершенно недопустимо, чтобы производственно-технологическая база в полном объеме создавалась всякий раз, когда возникает необходимость в создании сложной ПС РКП или ее составных подсистем. Например, недопустима постановка задачи создания сложных автоматических ТС в условиях отсутствия необходимого и достаточного множества требуемых структурных элементов (модулей технологического оборудования и средств технологического оснащения), обладающих необходимой надежностью. Соответственно, необходимо опережающее развитие производственно-технологической базы ПС РКП. В противном случае сложные ПС предприятий РКП становятся заведомо дорогостоящими и малоэффективными, а автоматизация из прогрессивного превращается в разрушительный для экономики предприятий отрасли метод. При этом необходимо отметить, что в опережающем развитии производственно-технологической базы отрасли находит свое конкретное проявление принцип преемственности.

Второе направление – развитие методологических основ создания сложных ПС РКП, разработки методов синтеза и оценки альтернативных вариантов, формирование упорядоченной системы критериев выбора оптимального варианта.

Опережающее развитие производственно-технологической базы объективно влияет на расширение

состава функций и проектных задач технологического обеспечения создания и производства космических систем, которые должны быть направлены на достижение требуемых показателей эффективности ПС РКП. Соответственно, значение имеет разработка методов анализа деятельности предприятий РКП, связанной с технологическим обеспечением создания и производства КС, осуществлением производственных процессов в целях дифференциации (структурирования) деятельности, выявления типов, природы и механизма действия, формализации процессов и синтеза вариантов сложных ПС.

Третье направление – механизация и автоматизация проектной деятельности и процессов изготовления изделий РКТ. Но при этом необходимо отметить, что автоматизация сама по себе не должна быть самоцелью. Целью является создание эффективных ПС предприятий РКП.

Автоматизация на сегодняшний день представляет собой высший этап развития организационно-технологической науки, а также техники. Основу автоматизации составляет высокая производственная культура, наличие соответствующей элементной базы, достижение высокого уровня организации и цифровизации управления. Однако опережающее развитие технических средств автоматизации приводит к значительному возрастанию объемов и трудоемкости проектных работ, что выдвигает на передний план как одну из важнейших, задачу разработки методов математического моделирования, функционального (прикладного) математического обеспечения, методологии и методик автоматизированного формирования ПС.

Четвертое направление связано с развитием технологической и организационной науки. Разработка новых машиноориентированных технологий и технологических методов изготовления изделия является актуальной задачей. Здесь особо важны системная дифференциация знаний в сфере технологии и организации производства, разработка правил и методов системного организационно-технологического синтеза ПС на основе типовых проектных ситуаций и создание на этой основе проблемно ориентированных классификатора и элементной базы ПС.

На множестве элементов различных типов и различной степени сложности (в организационно-технологическом и техническом смысле) ситуаций

и осуществляется проектно-творческий процесс синтеза вариантов ПС. Особо важно отметить, что процессы создания элементной базы и разработки принципов и правил синтеза ПС органически связаны. Нельзя представить себе, чтобы создавалось множество элементов вообще, вне конкретной потребности в них. Качественный состав элементной базы ПС всегда определяется качеством объектов, структуры которых образованы из некоторого множества элементов. С другой стороны, при создании ПС целесообразно создавать эффективные, то есть оптимальные в смысле установленных целевых критериев, варианты ПС.

Допустимо считать, что оптимальной ПС соответствуют оптимальная организация и структура. При этом необходимым условием оптимальной структуры является наличие конкретной среды, в которой или на основе анализа которой формируется элементная база, то есть множество эффективных или оптимальных ПС определенного класса.

Таким образом, качество реальных ПС РКП определяет требования к качеству элементной базы и наоборот. Развитие, совершенствование (оптимизация) элементной базы осуществляется путем ее коррекции (пополнения) на основе анализа функционирования ПС, построенных на прежней (до коррекции) элементной базе.

Изложенное служит основой типизации, унификации и стандартизации элементов ПС РКП.

Пятое направление – типизация, унификация и стандартизация элементов ПС на основе принципа оптимизации ПС. Очевидно, что унифицировать потребности нельзя, следовательно, предела разнообразия изделий, удовлетворяющих потребности, нет. Вместе с тем это не означает, что отсутствуют пределы совершенствования ПС и элементной базы. Однако темпы изменчивости потребностей значительно выше. Из этого следует, что одним из методов формирования элементной базы ПС является прогнозирование развития потребностей на основе анализа закономерности этого процесса. Этот подход согласуется с первым направлением стратегии создания ПС РКП.

Шестое направление связывается с ликвидацией ведомственной, организационной и профессиональной разобщенности, являющейся серьезным препятствием на пути эффективной организации производства изделий РКТ.



Конкретно негативность характера ведомственной, организационной и профессиональной разобщенности проявляется в игнорировании принципа специализации, который требует слияния однородных в организационно-технологическом смысле ПС, производящих изделия одного класса, что способствует, повышению серийности производства и обеспечивает возможность реализации ПС в соответствии с приведенными выше принципами организации.

Седьмое направление – совершенствование технологичности изделий в направлении сокращения их материалоёмкости и трудоёмкости изготовления, также обеспечение разработки производственных машиноориентированных технологических процессов. Особое внимание следует уделять использованию искусственных материалов и развитию методов получения точных заготовок деталей и сборочных единиц (ДСЕ), не нуждающихся в дальнейшей механической обработке.

В соответствии с традиционным представлением при проектировании ПС РКП проектируется объект управления (ОУ – множество исполнителей, модулей технологического оборудования и средств технологического оснащения) и система управления (СУ). При этом считается, что, прежде всего, проектируется ОУ, затем СУ.

Несомненно, такой порядок естественен, так

как прежде чем управлять, надо знать, чем управлять и каковы задачи и цели управления. Казалось бы, имеют место два основных этапа: первый – проектирование ОУ, второй – проектирование СУ. Однако необходимо учесть, что проектирование СУ и ОУ всего лишь две взаимосвязанные проектные задачи, которые решаются в рамках осуществления единого, комплексного процесса формирования ПС РКП.

В процессе формирования ПС РКП как сложной организационно-технической системы на ранних стадиях ЖЦИ РКТ решения принимаются в условиях неопределенности, когда информация о проектируемом объекте минимальна и процесс проектирования развивается как совокупность последовательно совершаемых актов. Решения принимаются во многих случаях по аналогии, количество альтернативных вариантов решений небольшое, критерии оптимальности имеют нечеткий характер.

По мере развертывания процесса проектирования, конкретизации информации о проектируемых объектах степень неопределенности условий, в которых принимаются проектные решения, понижается, уточняемые критерии приобретают все более конкретный, частный характер. Появляется возможность распараллеливания выполнения проектных работ. В общем виде схема процесса выполнения проектных работ может быть представлена в виде двухуровневой иерархии (рис. 1).

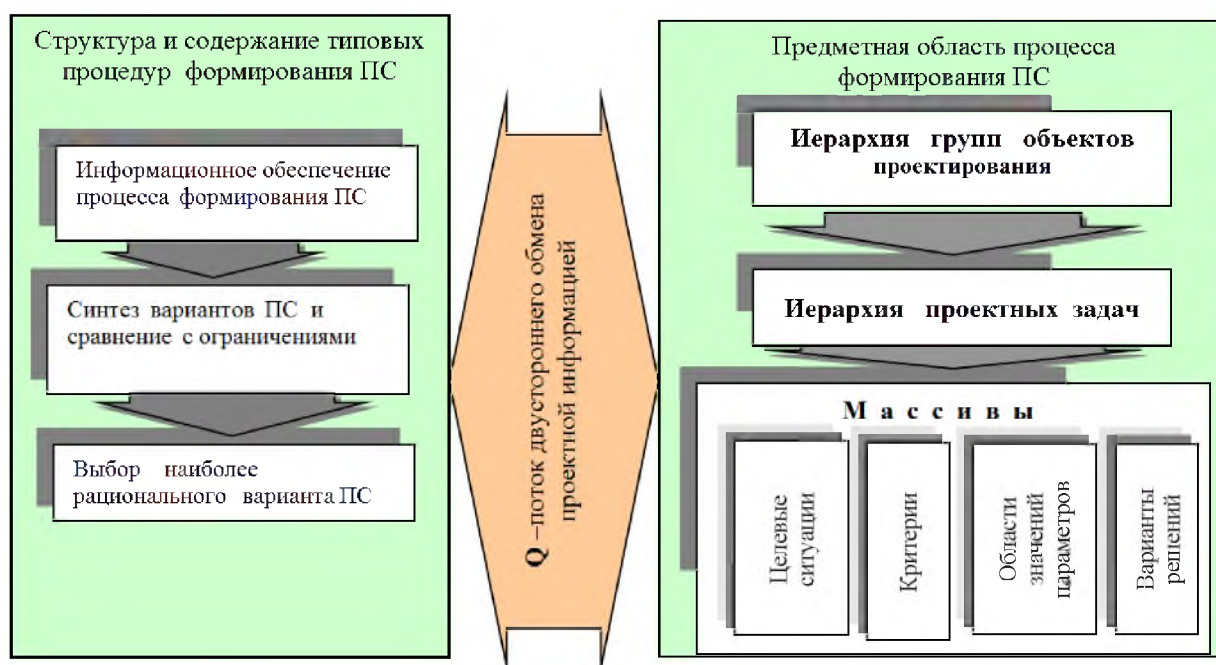


Рис. 1. Схема процесса выполнения проектных работ

Существуют два типовых уровня: на первом – реализуется информационное обеспечение процесса формирования ПС, для которого характерно последовательное выполнение работ; на втором – синтез вариантов и выбор наиболее рационального варианта ПС, для которого характерно параллеливание работ. Разбиение на два этапа имеет принципиальный, общесистемный характер [11, 15, 16, 17]. Далее каждый этап может быть разбит на различное количество специфических подэтапов.

Работы, выполняемые на первом этапе, имеют общесистемный характер. Именно здесь принимаются принципиальные системные решения, определяющие общую структуру ПС. Создание (проектирование) ПС начинается с интерпретации потребностей для генерирования глобальной проектной задачи с идентификацией цели формирования ПС, а также декомпозиции задачи и критерия предпочтения. Постановка задачи и идентификация цели формирования ПС необходима для уточнения целей формирования, заданных на предыдущей стадии ЖЦИ РКП, с учетом конкретных условий на стадии ЖЦИ. Декомпозиция задачи, цели формирования и критерия предпочтения обеспечивает построение двухуровневой иерархии частных задач, целей и критериев предпочтения.

Решение глобальной проектной задачи начинается с определения класса изделий для удовлетворения потребностей и проведения комплекса проектно-конструкторских работ по проектированию изделий. В проектах изделий заложено значительное количество информации о конструкторско-технологических параметрах и масштабах выпуска изделий.

Здесь уже могут быть начаты работы по проектированию системы автоматизированного формирования КТР изделий. Затем информация подвергается системному анализу в целях определения возможности размещения заказов на изготовление изделий уже действующих ПС (стратегия проектирования по аналогии); определения допустимых вариантов организационных форм производственных процессов; возможности кооперации (размещения заказов на изготовление отдельных узлов, деталей входящих в состав изделий); технологической инспекции изделий для оценки возможности технологической реализуемости изделий; определения необходимых НИР; выявления классов задач, решаемых создаваемой ПС и предназначенных для изготовления

заданного класса изделий, и формирования на этой основе принципиальной укрупненной заданной структуры системы.

Все это позволяет сформировать принципиальную функциональную структуру будущей ПС. По завершении цикла работ становится возможным определить потенциальных исполнителей, для которых могут быть сформулированы задачи.

На втором этапе выполняется синтез вариантов решений частных задач и согласование вариантов по критериям предпочтения. Наиболее предпочтительный согласованный вариант является решением задачи формирования ПС.

При этом для изделий-представителей класса разрабатываются технологические процессы их изготовления: выявляются технологические методы обработки и сборки, прогнозируется суммарная трудоемкость по каждому методу на планируемый период, определяются принципы организации производственных процессов; принимаются решения о качественном составе основного технологического оборудования и уровне автоматизации работ, предварительно намечаются структурные функциональные подразделения ПС. Принимается решение и о создании автоматизированных систем обработки технологических решений (ОТР) и технологической подготовки производства (ТПП). Формируется принципиальная схема функционирования ПС на уровне функциональных подразделений и формулируется задача создания СУ производственной системой. Известная конструктивно-технологическая информация, уровень автоматизации работ и качественный состав оборудования позволяют начать разработку автоматизированной системы проектирования технологических процессов обработки и сборки.

Эти работы составляют примерный перечень содержания работ общесистемного характера.

Далее необходимо приступить к более детальной отработке технологических процессов изготовления изделий представителей. При этом с учетом программы выпуска на планируемый период уточняется суммарная трудоемкость основного производства по видам и методам изготовления изделий, качественный и количественный состав основного технологического оборудования и СрТО. Появляется возможность определения состава и мощности вспомогательного производства, уточнения общей



структуры ПС, конкретизации функциональных структур ПС и системы технологической подготовки производства. Вместе с тем осуществляется распараллеливание работ по созданию ПС.

В качестве самостоятельных окончательно оформляются следующие направления: разработка системы конструкторской подготовки производства; разработка системы технологической подготовки производства; проектирование вспомогательных производственных систем; проектирование технологических процессов основного производства; выбор и проектирование основного и вспомогательного технологического оборудования; организация основных производственных процессов; проектирование обслуживающего производства; разработка систем управления по каждой функциональной подсистеме.

Общесистемный орган субъекта управления формированием ПС РКП (профильные подразделения Госкорпорации «Роскосмос», интегрированные структуры, предприятия, АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева») на всех этапах работ осуществляет координацию работ по направлениям. Основной задачей является разработка общей функциональной и информационно-логической структуры ПС, а также общий контроль за ходом выполнения проектных работ, назначение которого – оценка

адекватности хода и содержания работ целям функционирования ПС в целом, синтез глобальной СУ производственной системы.

Функциональная и информационно-логические структуры являются основой механизма воздействия информационно-смежных проектирующих подсистем, которые обмениваются между собой необходимой информацией. В соответствии с этими структурами осуществляется процесс конкретизации объекта проектирования, включая отдельные подсистемы. По мере конкретизации корректируется содержание работ в каждой подсистеме, а также общая организационная структура ПС, структуры функционирования и информационно-логическая структура ПС в целом. По завершении проектных работ осуществляется техническая реализация проекта.

Такова в основных чертах стратегия проектирования ПС. В организационном смысле особо следует отметить необходимость общесистемного органа формирования ПС РКП, выполняющего роль системного проектировщика ПС.

Естественно, что разработка методологии и стратегии проектирования ПС во всей ее полноте представляет собой самостоятельный предмет исследования, необходимость разработки которого является центральным моментом концепции создания ПС.

Выводы

С учетом изложенного в настоящее время целесообразно в рамках отраслевого системного проекта исследовать проблематику управления эффективностью ПС предприятий РКП, обосновать и разработать принципы, методологические основы и модельно-программное обеспечение формирования новой ПС для реализации стратегии опережающего технологического развития космической отрасли.

Исходя из необходимости решения поставленной проблемы формирования новой ПС РКП и анализа состояния вопроса, целесообразно:

1. Разработать концепцию, научно-методические основы, информационно-аналитическое и научно-технологическое обеспечение организационно-технического механизма формирования и опережающего развития ПС РКП, соответствующей мировому уровню, которая обеспечит лидирующее положение на международном космическом

рынке изделий РКП и космических производственных услуг.

2. Разработать программу поэтапного создания новой ПС РКП и ее инфраструктурных объектов с технико-экономическим обоснованием сроков и объемов ресурсного обеспечения.

Для достижения указанных целей необходимо решить следующие задачи:

- провести исследования и анализ внешних факторов и угроз, международного и отечественного практического опыта, нормативного, научно-математического и программно-модельного обеспечения процессов управления перспективным развитием ПС космической отрасли и определить принципы, миссию, цели и задачи стратегии формирования новой ПС РКП на долгосрочную и среднесрочную перспективу для обеспечения выпуска требуемой номенклатуры, опережающих мировой уровень КС с учетом ресурсных ограничений и внешних факторов;

- оценить существующие концепции, методы, сдерживающие факторы, показатели и уровень цифровизации мероприятий по управлению перспективным научно-технологическим развитием ПС РКП и определить пути повышения их эффективности;
- исследовать и провести систематизацию взаимосвязей определяющих конструкторско-технологических параметров и производственно-технологических факторов при создании новых КС;
- теоретически обобщить и систематизировать отраслевой научно-технологический задел по проблематике обеспечения баланса между требованиями сокращения сроков и затрат на создание КС с улучшенными тактико-техническими характеристиками и повышения эффективности управления ПС РКП;
- разработать принципы, методологические основы и модельно-программную технологию создания и внедрения отраслевого организационно-технического механизма управления перспективным развитием ПС РКП;
- исследовать особенности поэтапного создания новой ПС РКП, разработать дорожную карту с обоснованием объемов и ресурсного обеспечения реализации ее этапов;
- разработать отраслевую методику по практическому внедрению организационно-технического механизма при создании новой ПС РКП.

Библиографический список

1. Рябченко А.В. Организационно-экономический механизм функционирования интегрированных структур ракетно-космической промышленности: дис. канд. техн. наук.: 08.00.05.: защищена 02.02.2015: утв. 15.10.2015 / Рябченко Александр Владимирович. СПб., 2014. 157 с. Машинопись.
2. Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 20230 года и дальнейшую перспективу: утв. Президентом Российской Федерации от 19.04.2013 № Пр-906. – [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/osnovnye-polozenija-osnov-gosudarstvennoi-politiki-rossiiskoi-federatsii/?ysclid=les53oupn2702660674> (дата обращения 25.01.2023).
3. О Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос»: Федеральный закон от 13.07.2015 № 215-ФЗ; принят Государственной думой 01.07.2015; одобрен Советом Федерации 08.07.2008 (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.07.2015). – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank> (дата обращения 08.03.2023).
4. Власов Ю.В. Современное состояние и перспективы развития производственной системы Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» // Вестник «НПО «Техномаш». – 2020. – № 1. – С. 6–15.
5. Бодин Н.Б., Бурмистрова Л.М. Экономическая модель эффективного управления космической отраслью // Менеджмент и бизнес-администрирование. – 2016. – № 1. – С. 176–195.
6. Кондратенко А.Н. Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2020. – № 2. – С. 21–32.
7. Власов Ю.В., Кузин А.И., Кондратенко А.Н., Поморцев А.Н. Состояние технологической готовности производств и метрологического обеспечения производственно-технологической базы отрасли для обеспечения бездефектного производства перспективных изделий РКТ, проблемные вопросы и предложения по их решению // Вестник «НПО «Техномаш». – 2019. – № 9. – С. 79–83.
8. Ведомости от 21.12.2022. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/characters/2022/12/21/956268-budem-rabotat-nad-sozdaniem-sereznoi-gruppirovki> (дата обращения 08.03.2023).
9. Бодин Н.Б. Экономика космоса: единая экономическая модель эффективного управления и задача научно-технологического сопровождения деятельности Госкорпорации «Роскосмос» // Вестник «НПО «Техномаш». – 2022. – № 2. – С. 23–42.
10. Системный подход в решении вопросов качества, надёжности, технико-экономического анализа, конкурентоспособности и безопасности основных направлений аэрокосмической отрасли. Аполлонов И.В., Бодин Н.Б., Лаппо Е.А., Оноприенко В.Д., Пантелеев К.Д., Сапунов Г.С., Титов А.Н./ Материалы 54-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга. – 2019 – С. 191–194.



11. Пантелеев К.Д. Разработка типовой методики формирования организационно-технологической структуры производства изделий ракетной техники с ранних стадий проектирования конструкции и технологии: дис. канд. техн. наук: 05.02.08.: защищена в 1993 г.: утв. 20.12.1993 / Пантелеев Константин Дмитриевич. М., 1992. – 180 с. Машинопись.

12. Бендилов М.А. Стратегическое планирование развития наукоемких технологий и производств (на примере космического машиностроения). – М.: Academia, 2000. – 304 с.

13. Исаченко В.А., Костоломов Э.Ф. Методические основы интенсификации работ по технологическому обеспечению цикла Разработка-производство // ЦНТИ Поиск.– Сер. Технология производства. – 1984. – Вып. 2. – С. 20–25.

14. Исаченко В.А. Новые принципы подхода и формирования научных исследований в области техники и технологии / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР. – 1985. – С.17–23.

15. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения КТР / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР. – 1985. – С. 24–28.

16. Соломонов Ю.С., Шахтарин Ф.К. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность. – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.: ил.

17. Матвеев Ю.А., Щеверов Д.Н. Экономическая оценка реализации проектов ракетно-космической техники: Учебное пособие. – М.: МАИ, 2005. – 96 с.: ил.

18. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Методы прогнозирования характеристик модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. – М.: МАИ, 2019. – 160 с.: ил.

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «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 JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-95-26.
E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

УДК 621.735.016.2

Пантелеев К.Д.
Panteleev K.D.

Концептуальная схема и модель процесса управления эффективностью производственной системы ракетно-космической промышленности

Conceptual scheme and model for the performance management process of aerospace industry production system

Рассмотрены структура и особенности концептуальной схемы и модели процесса управления эффективностью производственной системы ракетно-космической промышленности. Показана проблематика реализации системного подхода к управлению эффективностью развития производственной системы ракетно-космической промышленности с ранних стадий жизненных циклов космических систем посредством программно-целевого планирования. Обоснована необходимость создания отраслевого организационно-технического механизма управления эффективностью производственной системой ракетно-космической промышленности на основе базы знаний и базы данных.

The structure and features of the conceptual framework and model of the performance management process for the aerospace industry production system are considered. The issues of system approach to managing the development efficiency of the aerospace industry from the early stages of the life cycles of space systems through program-targeted planning is shown. The necessity of creating an industry-specific organizational and technical mechanism for performance management of the production system of the aerospace industry on the basis of a knowledge base and database has been substantiated.

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

Keywords: production system, design and process solution, aerospace equipment, life cycle, space vehicles, organisational and technical mechanism, technological support, efficiency, knowledge base, database.

Введение

Процесс управления эффективностью производственной системы (ПС), проблемно-ориентированный на производство космических средств (КС) на период до 2030 года, в целях существенного повышения характеристик и создания принципиально новых систем ракетно-космической техники (РКТ), обладающих ранее недостижимыми возможностями, рассматривается как отраслевая сложная организационно-техническая система, обладающая следующими особенностями:

- невозможностью формирования адекватной математической модели;
- неопределенностью и нечеткостью поведения;
- инерционностью («нетерпимостью» к управлению);
- нелинейностью внутренних процессов;
- невозможностью имитационного моделирования процессов управления эффективностью.

Математическая модель процесса управления эффективностью производственной системы ракетно-космической промышленности (ПС РКП) представляет собой иерархически упорядоченную совокупность формализованных правил и соответствующего алгоритмического обеспечения контроля и анализа состояния системы. Располагая таким описанием, реализованным в виде отраслевого организационно-технического механизма на основе базы знаний (БЗ) и базы данных (БД), можно обеспечить подготовку основных функциональных блоков управления эффективностью ПС РКП (планирование, контроль, регулирование) на всех стадиях жизненных циклов изделий (ЖЦИ) РКТ, что позволит обеспечить требуемую совокупность потребительских свойств, определяющих технический уровень изделий РКТ,



и показателей эффективности предприятий космической отрасли.

Технический уровень (ТУ) группы однотипных изделий РКП понимается как совокупная характеристика их потребительских свойств, выраженная в конкретных значениях показателей, которая устанавливается нормативно-технической документацией или образцом-эталоном (базовым образцом) для последующего изготовления данной группы изделий.

Эффективность ПС РКП понимается как совокупная характеристика, определяемая как отношение между полученными результатами производственной деятельности предприятий отрасли и затрат труда и средств на создание, производство и сервисное обеспечение эксплуатации перспективных изделий РКП [1].

Формирование адекватной концептуальной схемы и модели эффективной системы управления эффективностью ПС РКП является важной научно-технической задачей.

Неопределенность и нечеткость поведения ПС является одной из особенностей процесса создания перспективных изделий РКП с заданными показателями ТУ и эффективности, которая обусловлена наличием весьма широкого спектра внешних и внутренних воздействий в ходе управления, сложностью конструкторско-технологических решений (КТР), процессов технологического обеспечения их проектирования, опытно-конструкторской разработки, постановки на производство, ресурсного обеспечения, сервисного обслуживания при эксплуатации. Поэтому поведение ПС при попытке сформировать систему управления во многих случаях оказывается непредсказуемым для разработчиков, производственников и эксплуатационников. Эту особенность управления эффективностью ПС РКП следует рассматривать как некоторую совокупность случайных факторов и трактовать как «естественный фон», нежели анализировать механизмы второстепенных воздействий, возникающих на всех характерных стадиях ЖЦИ РКП.

Инерционность, «нетерпимость» к управлению эффективностью при создании РКП является важной особенностью ПС РКП. Процессы управления показателями ТУ изделий РКП и эффективности ПС обеспечивают координацию процессов создания, производства и испытаний КС со стороны Субъекта (Субъектов) управления. Вследствие это-

го внешние координирующие решения нарушают естественно сложившийся (т.н. «нормальный») ход процессов разработки и производства техники и технологии, то есть изменяют его самостоятельное поведение и делают зависимым от Субъекта (Субъектов) управления.

Эту особенность в наибольшей степени следует учитывать в процессах создания, производства и испытаний КС как активных систем, в которых существенную роль играет субъективный фактор. В данном контексте цели Субъектов управления (заказчиков, органов управления Госкорпорации «Роскосмос», отраслевых головных научно-исследовательских организаций, разработчиков, производственников и эксплуатационников) в известной степени противоречат друг другу. Поэтому они должны быть согласованы с основными (стратегическими) целями разработки, производства и эксплуатации КС, скоординированы и согласованы между собой, что вызывает отрицательную реакцию в системе управления эффективностью ПС.

Нелинейность внутренних процессов ПС РКП вытекает из сложности формируемых (КТР), процессов разработки, производства, испытаний и эксплуатации изделий. Эта особенность проявляется главным образом в отклонениях значений параметров от требуемых в техническом задании, то есть эволюции составных частей КС и элементов ПС как объектов управления во времени и пространстве. Указанную особенность следует учитывать при анализе и синтезе моделей управления показателями ТУ перспективных изделий РКП и эффективности ПС РКП.

Невозможность полной имитации процессов разработки и производства техники проявляется в различной реакции объектов управления (показателей программ – проектов, мероприятий, процессов управления развитием технологий, ТУ изделий РКП, технологий) на одни и те же координирующие воздействия в различные моменты времени. Процессы разработки и производства как объекты управления как бы перестают быть самими собой, то есть производственные ситуации постоянно изменяются. Указанные особенности ПС производства изделий РКП как сложной организационно-технической системы, безусловно, не являются исчерпывающими.

Необходимо отметить, что рассматриваемые особенности присущи любой сложной системе. Такое

обстоятельство необходимо учитывать при построении различных моделей для оценки уровня эффективности существующих ПС в интересах повышения характеристик перспективных систем РКТ либо создания принципиально новых систем РКТ, обладающих ранее недостижимыми возможностями.

Развиваемые в современных условиях ужесточения международной конкуренции и расширения глобальных военных угроз экономическая модель управления космической отраслью еще более усиливает неопределенность и нечеткость протекающих процессов в ходе создания и постановки на производство конкурентоспособных по показателям ТУ изделий РКТ, что также должно быть учтено при разработке соответствующих моделей. На ранних стадиях ЖЦИ РКТ снижаются интегральные показатели эффективности ПС РКП, в связи с чем для фазы перехода к производству перспективных образцов РКТ в современных условиях необходимо разработать наиболее рациональные организационно-технологические решения.

На практике такое решение осуществляется на основе концепции управления технологической наследственностью составных частей создаваемых изделий РКТ [2]. Технологическая наследственность может быть как полезной, так и негативной, ухудшающей показатели ТУ изделия РКТ и эффективности ПС. Негативные факторы могут развиваться или контролируемо подавляться в ходе разработки организационно-технологических решений ПС. Проблематика исследования и управления технологической наследственностью в целях усиления положительных факторов наследственности и подавления отрицательных является ключевой при технологическом обеспечении формирования эффективных ПС РКП.

При этом структурное проектирование ПС должно осуществляться так, чтобы обеспечить монотонность изменения величины некоторого наследуемого показателя отрицательного свойства изделия. Наиболее эффективным будет организационно-технологическое решение, при котором отрицательное свойство либо не возникает, либо его негативное влияние сразу же подавляется после возникновения. Подавление отрицательного влияния наследуемых свойств на ранних стадиях ЖЦИ РКТ выгодно, прежде всего, с экономической точки зрения за счет уменьшения в будущем числа бракованных ДСЕ изделий РКТ.

Процесс управления эффективностью перспективных ПС РКП включает три взаимообусловленных направления [3, 4, 5, 6]:

1. Разработку основных направлений технологического развития ПС на основе комплекса прогнозных исследований, анализа и упорядочения по интегральному критерию эффективности всех технологий в единый цикл с учетом прогнозов развития конструкций изделий, материалов, технологий, экспериментальной и производственной баз отрасли.

2. Выявление и анализ особенностей комплекса конструкторско-технологических проблем и производственно-технологических факторов, влияющих на разработку (КТР).

3. Применение комплексного подхода на всех этапах ЖЦИ РКТ.

В отечественной и зарубежной практике, в основном, применяются последовательный, параллельный и последовательно-параллельный методы перехода к производству перспективных образцов РКТ (рис. 1) [7].

В современной практике, как правило, метод перехода выбирают с учетом определяющих факторов КТР группы изделий системы заданного типа РКТ

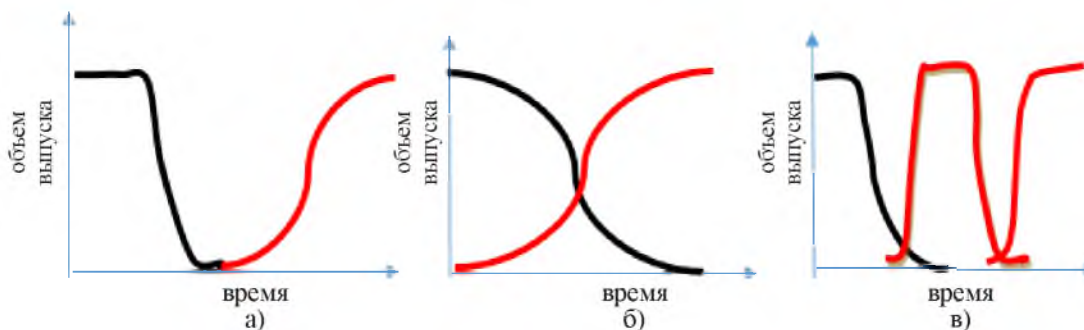


Рис. 1. Основные методы перехода на выпуск новых изделий РКТ: а – последовательный; б – параллельный; в – последовательно-параллельный (черная линия – старое изделие; красная линия – новое изделие)



и реализующих ПС по критерию минимума стоимости разработки проекта при условии соблюдения значений показателей надежности и трудоемкости изготовления не ниже заданных [8].

Эти факторы распределяются на три группы:

1. Факторы, характеризующие перспективное изделие: показатели ТУ; процент применяемых новых КТР в перспективном изделии; сравнительный анализ показателей технико-экономической эффективности устаревшего и перспективного изделия; уровень унификации и преемственности КТР.

2. Факторы, характеризующие технологию производства: показатели уровня новизны, технологичности, унификации, типизации технологических процессов и средств технологического оснащения (СрТО), специализации и технико-экономической эффективности оборудования.

3. Факторы, характеризующие организационно-технические условия производства: показатели

уровня ресурсной обеспеченности, специализации, эффективности.

С учетом тенденций ужесточения международной конкуренции в сфере космической деятельности особое значения приобретает фактор упреждающего выявления и отбора технологий, обеспечивающих опережающее развитие изделия РКТ с показателями ТУ не ниже мировых, повышение эффективности ПС.

При этом необходимо особо подчеркнуть, что повышение эффективности ПС освоения перспективных РКТ, преодоление недостатков методов и негативного влияния факторов перехода к производству перспективных изделий РКТ в настоящее время невозможно реализовать без внедрения системы опережающего технологически ориентированного проектирования и отработки новых изделий на основе выявления и многокритериального отбора прорывных КТР [9, 10, 11].

Концептуальная схема процесса управления эффективностью производственной системы

С позиций системного подхода проблема повышения эффективности стратегического и тактического формирования ПС рассматривается в настоящей работе не фрагментарно, а как единая по ЖЦИ в целом: от стадии научно-исследовательской работы (НИР) до стадии серийного производства применительно к любым типам производства и видам технологии [1, 8, 9, 12, 13].

С учетом особенностей, изложенных выше, концептуальная схема процесса управления эффективностью ПС РКП рассматривается как нечеткая многоуровневая многоцелевая иерархическая система, число уровней которой равно числу стадий ЖЦИ [14]:

$$\tilde{F}_{\text{ПС}} = (\tilde{S}, \tilde{Z}, \tilde{\theta}, \tilde{Q}, \tilde{L}, \tilde{J}, \tilde{U}, \tilde{S}_{\text{ПР}})_{\text{ПС}} \quad (1)$$

где $\tilde{U} = (\tilde{P}_u, \tilde{T}_u, \tilde{S}_u, \tilde{C}_u, \tilde{t}_u)_{\text{ПС}}$ модель целевой ситуации процесса, в т.ч.:

\tilde{P}_u – описания целевого облика конструкции изделия;

\tilde{T}_u – описания целевого облика технологии производства изделия;

\tilde{S}_u – описания целевого облика ПС изделия;

\tilde{C}_u, \tilde{t}_u – целевые описания показателей затрат и сроков изготовления изделия;

$\tilde{S}_{\text{ПР}} = (\tilde{P}_{\text{ПР}}, \tilde{T}_{\text{ПР}}, \tilde{S}_{\text{ПР}}, \tilde{C}_{\text{ПР}}, \tilde{t}_{\text{ПР}})_{\text{ПС}}$ – система проектных решений в ЖЦИ;

\tilde{S} – система моделей ПС предприятий-участников ЖЦИ;

\tilde{Z} – система моделей проектных задач в ЖЦИ;

$\tilde{\theta}$ – система моделей критериев предпочтения в ЖЦИ;

\tilde{Q} – система моделей целей в ЖЦИ;

\tilde{L} – система моделей ограничений в ЖЦИ;

$\tilde{J} \xrightarrow{\{\tilde{S}, \tilde{Z}, \tilde{\theta}, \tilde{Q}, \tilde{L}\}} \tilde{S}_{\text{ПР}}$ – модель мероприятий формирования ПС;

рождения ПС;

$\tilde{F}_{\text{ПС}} = \sum_{i=1}^n \tilde{F}_{\text{ПС}i} - i$ – порядковый номер стадии ЖЦИ,

n – число стадий ЖЦИ.

Верхним уровнем иерархии ЖЦИ является стадия технического предложения, а самым нижним – стадия серийного производства.

Согласно практике ракетостроения каждая стадия ЖЦИ рассматривается как организационно обособленная (выполняется самостоятельными ПС по своим проектным задачам с использованием соответствующих задачам систем целей, ограничений и критериев предпочтения). Вместе с тем учитывается иерархическая подчиненность стадий ЖЦИ, которая выражена в том, что цели, задачи, ограничения, критерии предпочтения на $i+1$ -й стадии устанавливаются по результатам i -й стадии ЖЦИ:



$$\begin{aligned} \tilde{F}_{\text{PC}i+1} &= (\tilde{S}_{i+1}, \tilde{Z}_{i+1}, \tilde{\theta}_{i+1}, \tilde{Q}_{i+1}, \tilde{L}_{i+1}, \tilde{J}_{i+1}, \tilde{U}_{i+1}, \tilde{S}_{\text{PP}i+1})_{\text{PC}} \\ \tilde{S}_{i+1} \cap \tilde{S}_i &= \emptyset; \tilde{Z}_{i+1} \cap \tilde{Z}_i = \emptyset; \tilde{\theta}_{i+1} \cap \tilde{\theta}_i = \\ &= \emptyset; \tilde{Q}_{i+1} \cap \tilde{Q}_i = \emptyset; \\ \tilde{Z}_{i+1}, \tilde{\theta}_{i+1}, \tilde{Q}_{i+1}, \tilde{L}_{i+1}, \tilde{J}_{i+1}, \tilde{U}_{i+1} &= \tilde{f}_i(\tilde{u}_i); \end{aligned} \quad (2)$$

где $\tilde{u}_i = (\tilde{P}_{\text{CP}i+1}, \tilde{T}_{\text{CP}i+1}, \tilde{S}_{\text{CP}i+1}, \tilde{C}_{\text{CP}i+1}, \tilde{I}_{\text{CP}i+1})_{\text{PC}}$ – целевые описания, задаваемые проектировщиками на $i+1$ -й стадии по результатам проектирования на i -й стадии (ТЗ на разработку $i+1$ -й стадии).

Также каждая стадия ЖЦИ рассматривается как единый процесс, представляющий собой совокупность линейно скоординированных, организационно обособленных подпроцессов формирования ПС с итерациями.

Обобщенная модель задачи процесса управления эффективностью производственной системы

Реализация системного подхода к управлению эффективностью развития ПС РКП с ранних стадий ЖЦИ РКТ обеспечивается посредством оценки перспектив развития, динамики показателей эффективности (прогноз) при различных управленческих воздействиях и наличии внешних и внутренних ограничений и рациональной корректировки управляющих воздействий.

Необходимо отметить, что от решения вопросов прогнозирования и анализа реализуемости вариантов решений в полной мере зависит качество и эффективность управления. Управление эффективностью ПС связано с определением перечня параметров КТР, оборудования, СрТО, процессов создания и производства, необходимых и достаточных для обеспечения требуемых показателей ТУ КС и минимизации затрат на выполнение работ.

Таким образом, типовая обобщенная модель задачи процесса управления эффективностью ПС РКП, проблемно ориентированных на создание эффективного производства космических средств на период до 2030 года, в интересах существенного повышения характеристик технических систем РКТ, либо создания принципиально новых систем РКТ, обладающих ранее недостижимыми возможностями, формулируется следующим образом [8, 15].

Для множества целей минимизации стоимости проекта производства многономенклатурной группы изделий заданного типа системы РКТ $C_{\text{PKT}\Sigma}$ обеспе-

Кроме того, имеет место взаимно однозначное соответствие стадии ЖЦИ и уровня декомпозиции ПС:

$$\begin{aligned} \tilde{F}_i &= (\tilde{F}_{\text{ш}}, \tilde{F}_{\text{т}}, \tilde{F}_{\text{пс}}), \text{ где} \\ \tilde{F}_{\text{ш}} &= (\tilde{S}_{\text{ш}}, \tilde{Z}_{\text{ш}}, \tilde{\theta}_{\text{ш}}, \tilde{Q}_{\text{ш}}, \tilde{L}_{\text{ш}}, \tilde{J}_{\text{ш}}, \tilde{U}_{\text{ш}}, \tilde{P}_{\text{ш}}); \\ \tilde{F}_{\text{т}} &= (\tilde{S}_{\text{т}}, \tilde{Z}_{\text{т}}, \tilde{\theta}_{\text{т}}, \tilde{Q}_{\text{т}}, \tilde{L}_{\text{т}}, \tilde{J}_{\text{т}}, \tilde{U}_{\text{т}}, \tilde{T}_{\text{т}}); \\ \tilde{F}_{\text{пс}} &= (\tilde{S}_{\text{пс}}, \tilde{Z}_{\text{пс}}, \tilde{\theta}_{\text{пс}}, \tilde{Q}_{\text{пс}}, \tilde{L}_{\text{пс}}, \tilde{J}_{\text{пс}}, \tilde{U}_{\text{пс}}, \tilde{S}_{\text{пс}}); \quad (3) \\ \tilde{U}_{\text{ш}} &= \tilde{f}_{\text{ш}}(\tilde{S}_{\text{ш}}, \Delta\tilde{S}_{\text{ш}}, \tilde{S}_{\text{т}}, \tilde{S}_{\text{пс}}) \\ \tilde{U}_{\text{т}} &= \tilde{f}_{\text{т}}(\tilde{S}_{\text{т}}, \tilde{S}_{\text{ш}}, \Delta\tilde{S}_{\text{т}}, \tilde{S}_{\text{пс}}) \\ \tilde{U}_{\text{пс}} &= \tilde{f}_{\text{пс}}(\tilde{S}_{\text{пс}}, \tilde{S}_{\text{ш}}, \tilde{S}_{\text{т}}, \Delta\tilde{S}_{\text{пс}}) \end{aligned}$$

$\tilde{S}_{\text{ш}} \cap \tilde{S}_{\text{т}} = \emptyset; \tilde{S}_{\text{ш}} \cap \tilde{S}_{\text{пс}} = \emptyset; \tilde{S}_{\text{т}} \cap \tilde{S}_{\text{пс}} = \emptyset$ – процессы формирования К, Т, ПС на каждой i -й стадии ЖЦИ организационно обособлены.

чения заданного уровня надежности функционирования этих изделий в составе данной системы P_{Σ} , сокращения трудоёмкости изготовления всех групп изделий для данного типа системы Tr_{Σ} , необходимо составить программу оптимального управления эффективностью ПС для обеспечения показателей ТУ не ниже заданного уровня $TU_{\Sigma}(TU_i(TU(\bullet))) \geq TU_{\text{зад}}$:

$$C_{\text{PKT}\Sigma} = \sum C_i(P_i, T_i, P_i(t)), W_i(TU_{\text{зад}}), Tr, U(t_{\text{PF}}) \rightarrow \min. \quad (4)$$

где: C_{PKT} – оценка среднего значения (математического ожидания) стоимости реализации проекта развития промышленных технологий изготовления многономенклатурной группы изделий системы заданного типа (далее – проект);

$P_i, T_i, P_i(t) \in G(t_{\text{PP}})$ – соответственно параметры изделия, технологий его изготовления, функция обработки изделия на надежность;

$$TU_i = \frac{W(P_i, T_i, P_i(t), t_{\text{PP}})}{W_{\text{шп}}(t_{\text{PP}})}$$

– показатель технического уровня i -й подсистемы;

$Tr(\bullet)$ – функция, определяющая трудоёмкость реализации проекта;

$U(t_{\text{PP}})$ – функция управления реализацией проекта.

Исходные условия выполнения задачи:

заказчиком по результатам исследований определены:



- номенклатура группы изделий заданного типа системы РКТ, перечень изделий-аналогов, базовый образец системы (изделия) мирового уровня, составляющих $G(t_{pp})$ – область статистической выборки;
- номенклатура параметров базовых элементов конструкции нового изделия (Π_i), по которым будет вестись оценка вариантов их изготовления;
- TU_{Σ} , TU_i – совокупность показателей ТУ многономенклатурной группы изделий системы РКТ заданного типа;
- $W(\Pi_i, T_i, P_i(t))$ – номенклатура показателей, определяющих целевой TU_{Σ} и TU_i , составляющих

ДСЕ многономенклатурной группы изделий системы РКТ заданного типа.

Заданы целевые требования:

- $t_{pp} \leq t_{pp_{зад}}$ – время (его предельное значение) реализации проекта;
- $P_i(t) \geq P_{i_{зад}}(t_{pp})$ – надёжность группы изделий и составляющих ДСЕ;
- $W(\Pi_i, T_i, P_i(t)) \geq W_{зад}(t_{pp})$;
- $Tr(\Pi_i, T_i, P_i(t)) \leq Tr_{зад}(t_{pp})$;
- $TU_{\Sigma}(TU_i(\Pi_i, T_i, P_i(t))) \geq TU_{\Sigma_{зад}}$;
- $TU_i(\Pi_i, T_i, P_i(t)) \geq TU_{i_{зад}}$.

Проблематика решения задачи управления эффективностью производственной системы

В настоящее время вследствие отсутствия единой политики и организационно-технического механизма управления развитием конкурентоспособности РКП, основанного на использовании отраслевых базы знаний и базы данных, имеют место следующие тенденции:

- по конструкции – снижение ТУ командных ДСЕ, отставание по уровню научно-технического задела (НТЗ) прорывных опережающих конструкторских решений; рост неэффективных, устаревших конструкторских решений;
- по технологии – снижение ТУ технологических переделов, уровня НТЗ по прорывным технологиям, доли опережающих прорывных технологий при росте доли устаревших; отставание по темпам внедрения и рост сроков технологической подготовки производства (ТПП) и затрат, необоснованное дублирование КТР [16, 17].

Указанные тенденции определяются недопустимо низким уровнем координации взаимодействия организаций, ответственных за перспективное планирование развития конструкции и технологии систем РКТ. По факту перспективные конструкторские решения принимаются практически без учета и надлежащей оценки влияния системы факторов технологической реализуемости, научно-технологической и производственно-технологической базы, что приводит к необоснованному лавинообразному росту объёмов корректировок решений (что означает трудноконтролируемый рост сроков и затрат на проектирование и производство изделий) на последующих стадиях проектов развития КС. Данная проблема является особенно актуальной в условиях увеличения конкуренции на космическом рынке.

В связи с неполнотой или полным отсутствием информации о факторах внутренней и внешней среды, определяющих перспективное развитие систем заданного типа, задача управления эффективностью ПС РКП является неструктурированной либо слабоструктурированной.

При этом для преодоления фактора неполноты информации о процессах формирования ПС на ранних стадиях ЖЦИ РКТ в настоящее время применяется статистический метод многоуровневой согласованной оптимизации. Метод обеспечивает формирование многоуровневой иерархической модели ПС, постановку задач синтеза и согласования вариантов КТР и производственно-технологических параметров ПС посредством реализации алгоритма согласованного оптимизационного поиска, включающего направленный анализ эмпирических данных и статистический учет функциональных связей при совместном решении указанных задач (рис. 2) [15].

Необходимо отметить, что АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в 80-х годах XX века проведены системные исследования по разработке методологического подхода к повышению эффективности ПС, проблемно ориентированных на развитие промышленных технологий, в целях существенного повышения характеристик технических систем РКТ, либо создания принципиально новых систем РКТ, обладающих ранее недостижимыми возможностями.

На основе предложенного в работах Исаченко В.А. подхода к повышению эффективности управления развитием ПС с использованием массивов типовых КТР специалистами АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» разработана

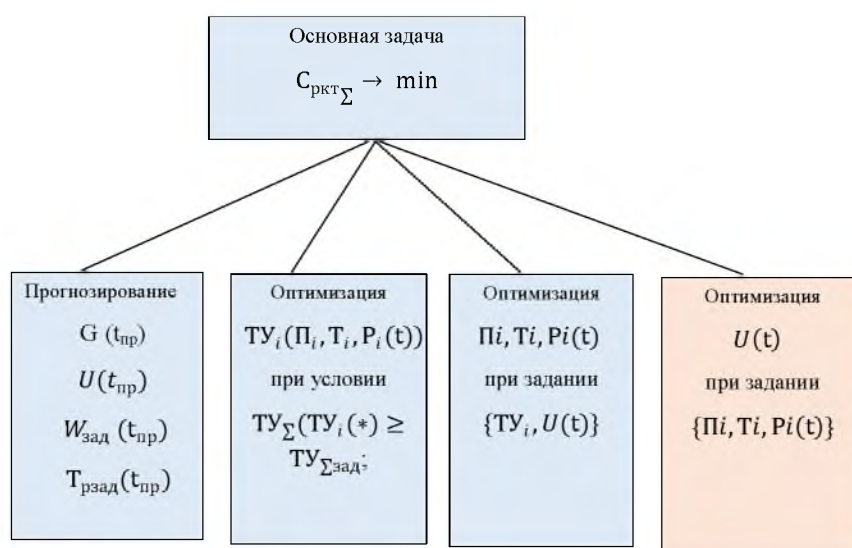


Рис. 2. Алгоритм согласованного оптимизационного поиска решений

система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники, в том числе систематизирован отраслевой опыт управления развитием технологий, сформированы массивы типовых КТР по основным видам КС, а также разработано программно-методическое обеспечение, обобщающее и регламентирующее ос-

новные правила, процедуры, алгоритмы, показатели и критерии их применения [3, 4, 5, 9].

В связи с негативными процессами в отрасли, произошедшими после развала СССР, разработка данной системы ограничилась только созданием основных отраслевых регламентирующих документов и федеральных стандартов.

Выводы

1. Процесс управления эффективностью ПС РКП, проблемно-ориентированный на производство перспективных, с существенно повышенными характеристиками ТУ и/или принципиально новых КС, обладающих ранее недостижимыми возможностями, рассматривается в формальном и практическом аспекте как единая сложная организационно-техническая система.

2. С позиций системного подхода проблема повышения эффективности стратегического и тактического формирования ПС рассматривается не фрагментарно, а единой по ЖЦИ РКП в целом: от стадии НИР до стадии серийного производства применительно к любым типам производства и видам технологии.

3. Концептуальная схема процесса управления эффективностью ПС РКП рассматривается как нечеткая многоуровневая многоцелевая иерархическая

система, число уровней которой равно числу стадий ЖЦИ РКП.

4. Задача управления эффективностью ПС РКП является неструктурированной либо слабоструктурированной и решается с помощью статистического метода многоуровневой согласованной оптимизации.

5. Разработанный задел АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в виде комплекса научно-методического, программно-математического и нормативного обеспечения системы технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники представляет собой крупное научно-техническое решение, имеющее важное государственное значение, и является основой дальнейшего развития отраслевого организационно-технического механизма управления эффективностью ПС РКП на основе базы знаний и базы данных.

Библиографический список

1. Соломонов Ю.С., Шахтарин Ф.К. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.: ил.
2. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др. / Под ред. А.М. Дальского. – М.: МАИ, 2000. – 364 с.: ил.

3. Исаченко В.А., Костоломов Э.Ф. Методические основы интенсификации работ по технологическому обеспечению цикла Разработка-производство // ЦНТИ Поиск. Серия Технология производства. – 1984. – Вып. 2. – С. 20–25.
4. Исаченко В.А. Новые принципы подхода и формирования научных исследований в области техники и технологии / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1985. – С. 17–23.
5. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения КТР / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1985. – С. 24–28.
6. Аполлонов И.В., Дадашев М.Н., Кухаренко А.А., Хариев Н.И. К вопросу об управлении созданием конкурентоспособной техники и технологии в России в ближайшей перспективе XXI века // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.: ВИМИ, 2006, №3. – С.3–13.
7. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения экспертных оценок. – М.: Ленанд, 2015. – 352 с.
8. Матвеев Ю.А., Щеверов Д.Н. Экономическая оценка реализации проектов ракетно-космической техники: Учебное пособие. – М.: МАИ, 2005. – 96 с.: ил.
9. Исаченко В.А. Методологические основы технологического обеспечения проектирования изделий ракетной техники: дис. д-р техн. наук: 05.07.04; защищена 27.05.1986; утв. 25.09.1986 / Исаченко Владимир Александрович. – Москва, 1986. – 383 с. Машинопись.
10. Общесистемный подход к управлению созданием новой конкурентоспособной отечественной техники и технологии в ближайшей перспективе XXI века. Аполлонов И.В., Пантелеев К.Д. // Материалы 54 Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – Калуга. – 2020. – С. 333–337.
11. Общесистемный подход к формированию приоритетных направлений развития промышленных технологий. Пантелеев К.Д., Рахмилевич Е.Г., Юрцев Е.С. // Вестник НПО Техномаш. – 2020. – № 3 (12). – С. 57–68.
12. Пантелеев К.Д. Разработка типовой методики формирования организационно-технологической структуры производства изделий ракетной техники с ранних стадий проектирования конструкции и технологии: дис. канд. техн. наук: 05.02.08.; защищена в 1993 г.; утв. 20.12.1993 / Пантелеев Константин Дмитриевич. – М., 1992. – 180 с. Машинопись.
13. Белов В.В., Пантелеев К.Д. Формирование рациональной организационно-технологической структуры производства изделий на ранних стадиях проектирования // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. – 1992. – №1. – С. 115–125.
14. Интегративно-декомпозиционный подход к формированию производственных систем на ранних стадиях жизненных циклов ракетно-космической техники. Пантелеев К.Д. // Вестник машиностроения. – 2008. – №5. – С. 77–81.
15. Матвеев Ю.А. Методы прогнозирования характеристик летательных аппаратов. – М.: МАИ, 2004. – 79 с.: ил.
16. Власов Ю.В. Современное состояние и перспективы развития производственной системы Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» // Вестник НПО Техномаш. – 2020. – № 1. – С. 6–15.
17. Рахмилевич Е.Г., Дементьев Д.А., Черемисин Д.А., Новиков П.П. и др. Техническое перевооружение предприятий ракетно-космической промышленности // РИТМ машиностроения. – 2018. – №4. – С. 26–30.

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НПО «Техномаш».

Тел.: 8 (495)689-95-26, доб.97-01.

E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

Panteleev Konstantin Dmitrievich – Ph.D. in Engineering Sciences, Leading Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: 8(495) 689-95-26.

E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

УДК 621.735.016.2

Пантелеев К.Д.
Panteleev K.D.

Особенности системного подхода к повышению эффективности производственной системы космического машиностроения

Features of a systematic approach to improving the efficiency of the aerospace engineering production system

Рассмотрены особенности реализации системного подхода в управлении эффективностью производственной системы и развитием ракетно-космической промышленности с ранних стадий жизненных циклов космических систем посредством программно-целевого планирования. Показана структурная модель процесса управления эффективностью производственной системы ракетно-космической промышленности. Обоснованы концептуальные принципы реализации структурной модели управления эффективностью производственной системы на основе базы знаний и базы данных.

The authors examine the features of implementing a systematic approach to managing the efficiency of the production system and the development of the aerospace industry from the early stages of the life cycles of space systems through programme-targeted planning. A structural model for the performance management process of the aerospace industry's production system is shown. The conceptual principles for implementing a structural model of performance management of the production system based on the knowledge base and database are substantiated.

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

Keywords: production system, design and process solution, aerospace equipment, lifecycle, spacecraft, process support, efficiency, knowledge base, database.

Введение

С позиций системного подхода процесс управления эффективностью перспективных производственных систем (ПС) ракетно-космической промышленности (РКП) рассматривается как единый, координируемый из единого центра процесс, организационно обособленный от процессов формирования конструкторско-технологических решений (КТР). В то же время он определяет затраты и сроки выполнения работ по созданию и производству всей номенклатуры деталей и сборочных единиц (ДСЕ) по изделиям ракетно-космической техники (РКТ) заданного типа системы в целом.

Данный процесс представляет собой нечеткую систему типовых подпроцессов выявления и отбора наиболее эффективных вариантов ПС для обеспечения заданных значений показателей технического уровня (ТУ) базовых ДСЕ группы изделий РКТ заданного типа, иерархически упорядоченную по их номенклатуре [1, 2]:

$$\tilde{F} = \cup_{i=1}^n F_i, \quad (1)$$

где: n – число базовых ДСЕ группы изделий РКТ; \tilde{F}_i – подпроцесс для i -го ДСЕ.

Суммарная эффективность процесса \tilde{F} по номенклатуре базовых ДСЕ в целом определяется эффективностью соответствующих подпроцессов для базовых ДСЕ, а также эффективностью координации и согласования решений по достигаемым показателям TU_i по всем уровням декомпозиции изделий РКТ.

Диктуемые условиями конкуренции требования повышения показателей TU_{Σ} изделий РКТ в целом и TU_i составляющих базовых ДСЕ в отдельности приводят к необходимости разработки единого методологического подхода к выявлению и отбору исследований по эффективности соответствующих вариантов ПС для обеспечения заданных значений показателей ТУ базовых ДСЕ группы изделий РКТ заданного типа, координации и согласованию соответствующих проектных решений, инвариантных для всех типов К, видов Т, типов ПС.



Структурная модель процесса управления эффективностью производственной системы

Суть предлагаемого единого подхода к управлению эффективностью перспективных ПС РКП заключается в декомпозиции данного процесса в виде двухуровневой иерархии этапов от информационного обеспечения выявления целей, объектов, модели (моделей) управления до последующего синтеза с оценкой и выбором согласованного варианта управления [2, 3].

Единый подход к управлению опережающим развитием промышленных технологий производства перспективных РКТ базируется на обобщенной модели и единых принципах его организации. Типовая обобщенная структурная модель данного процесса представляется в нечеткой иерархии вида:

$$\tilde{F}_i = (\Pi_i, \tilde{S}_i, \tilde{Q}_i, \tilde{U}_i, \tilde{E}_i). \quad (2)$$

Обобщенная модель системы конструкторско-технологических решений (КТР) и производства, которые формируют множество факторов воздействия, непосредственно влияющих на уровни показателей ТУ, П₁ изделий РКТ заданного класса, представляется в виде нечеткой системы:

$$\tilde{S}_i = (\tilde{K}_i, \tilde{T}_i, \tilde{P}C_i), \quad (3)$$

где: \tilde{K}_i – нечеткое множество объектов-аналогов; \tilde{T}_i – нечеткое множество технологических решений в ПС, обеспечивающих изготовление T_i ; $\tilde{P}C_i$ – нечеткое множество ПС, обеспечивающих реализацию $K_i T_i$.

В общем случае формальное представление едино и имеет вид:

$$\tilde{S}_i = \sum_{k=1}^n \mu_{\#k}(\tilde{S}_{ik}) / S_i, \quad (4)$$

где: $\mu_{\#k}(S_{ik}) \rightarrow [0,1]$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому $S_{ik} \in \tilde{S}_i$ число $\mu_{\#k}$ из интервала $[0,1]$, характеризующее степень принадлежности объекта S_{ik} нечеткому множеству \tilde{S}_i .

Цель процесса F_i описывается нечетким множеством вида:

$$\tilde{Q}_i = \{C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TY\}_i. \quad (5)$$

Следует подчеркнуть, что цель процесса выявления и отбора исследований по перспективным и прорывным промышленным технологиям для обеспечения заданных значений показателей ТУ базовых ДСЕ группы изделий РКТ заданного типа,

как правило, изначально невозможно определить с учетом всех деталей процесса в полном объеме. В связи с этим, вследствие существенной неполноты информации на ранних стадиях жизненных циклов изделий РКТ (ЖЦИ РКТ) цель не может быть четко установлена или вообще окажется нереализуемой впоследствии.

Постановка цели процесса по результатам исследований невозможна без исследования внутренних и внешних воздействий, которые во многом формируют эту цель. Конечная цель должна быть теоретически и практически обоснованной, реально достижимой, а также может подлежать корректировке в соответствии с результатами анализа реализуемости.

На ранних стадиях разработки систем будущих поколений (НИР, АП(ТП)), цели процесса, как правило, задаются в виде направлений исследований, по результатам которых конкретизируются до количественных характеристик. Постепенная детализация главной цели на подцели (формирование дерева целей), а также последующее её многократное уточнение осуществляются в ходе итераций процесса управления по стадиям ЖЦИ РКТ.

Нечеткое множество управленческих решений $\tilde{U}_i = \{U_{ik}\}$ характеризует планируемую программу исследований по формированию эффективных ПС для обеспечения заданных значений показателя ТУ для параметра Π_i изделий S-го типа (вида, конструктивного ряда) создаваемого объекта. Неуправляемым входом программы являются исходные, заданные Заказчиком компоненты Π_i, S_i а управляемым – «весовые» доли влияния на программу вариантов перспективных ПС. Выходом программы являются количественные значения критериев цели $\{C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TY\}_i$, оцениваемые Субъектом управления (руководителем (составителем) программы – заказчиком, разработчиком, ГНИО).

Критерии цели $C_i, W_{\varphi}, T_{pi}, t_{npi}, P(t)_i, TY_i$ зависят от множества управленческих решений \tilde{U}_i и представляются функциями вида:

$$\begin{aligned} C_i &= \varphi_{i1}(\tilde{U}_i), W_{\varphi} = \varphi_{i2}(\tilde{U}_i), T_{pi} = \varphi_{i3}(\tilde{U}_i), \\ t_{npi} &= \varphi_{i4}(\tilde{U}_i), P(t)_i = \varphi_{i5}(\tilde{U}_i), TY_i = \varphi_{i6}(\tilde{U}_i), \end{aligned} \quad (6)$$

где: $\varphi_{i1}(\tilde{U}_i), \dots, \varphi_{i6}(\tilde{U}_i)$ – неизвестные целевые функции.

Множество управленческих решений \tilde{U}_i представляет собой заданное на Π_i множество нечетких операторов $\tilde{u}_{ik}^{\Pi_i}$ вида:

$$\tilde{u}_{ik}^{\Pi_i}: \Pi_i \rightarrow S_{ik}, \quad (7)$$

где: $\tilde{S}_{ik}(T_\varepsilon / \alpha_\varepsilon(S_\varepsilon), \lambda_\varepsilon)$ – k-й вариант программы исследований по формированию эффективной ПС для обеспечения заданных значений показателя ТУ для параметра Π_i .

Выходные показатели ТУ для параметра Π_i представляются функциями вида:

$$\begin{aligned} \{C, W_\varphi / \mu_\varphi(W_\varphi), \lambda_\varphi, T_p, t_{np}, P(t), TY\}_{ik} : C_{ik} = \\ = \varphi_{ik1}(S_{ik}), W_{\varphi ik} = \varphi_{ik2}(S_{ik}), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} T_{pik} = \varphi_{ik3}(S_{ik}), t_{npik} = \varphi_{ik4}(S_{ik}), P(t)_{ik} = \\ = \varphi_{ik5}(S_{ik}), TY_{ik} = \varphi_{ik6}(S_{ik}). \end{aligned}$$

Функция принадлежности $\alpha_\varepsilon(S_\varepsilon)$ характеризует относительное содержание компонента S_ε программы (цепочки организационно-технологических решений, предложений по перевооружению производственно-технологической базы (СрТО), технологическое оборудование), указывающего вклад («весовую» долю) в обеспечение k-го варианта программы исследований показателя ТУ, а порог принадлежности $\lambda_\varepsilon \in [0,1]$ определяет требования,

предъявляемые к качеству показателя ТУ, причем качество удовлетворяется при

$$\alpha_\varepsilon(S_\varepsilon) \geq \lambda_\varepsilon. \quad (9)$$

В общем случае всего может быть n «весовых» долей ($\varepsilon = 1..n$), где $\sum_{\varepsilon=1}^n \alpha_\varepsilon(T_\varepsilon) = 1$. Функция принадлежности $\mu_\varphi(W_\varphi)$ характеризует качество (функцию ценности) единичного показателя ТУ W_φ для k-го варианта исследований, а порог принадлежности $\lambda_\varphi \in [0,1]$ определяет требования, предъявляемые к качеству показателя ТУ, причем качество удовлетворяется при

$$\mu_\varphi(W_\varphi) \geq \lambda_\varphi. \quad (10)$$

Таким образом, обобщенная модель процесса \tilde{F} имеет вид нечеткой иерархической системы, состоящей из типовых, функционально дифференцированных, но в то же время взаимозависимых нечетких, иерархически соподчиненных подпроцессов \tilde{F}_i :

$$\tilde{F} = \sum_{i=1}^n \tilde{F}_i, \tilde{F}_i = \sum_{k=1}^m \tilde{F}_{ik}, \quad (11)$$

где: n, m – соответственно, количество Π_i вариантов исследований для обеспечения S_i .

Иерархия процесса управления опережающим развитием промышленных технологий производства перспективных РКП представлена на рис. 1.

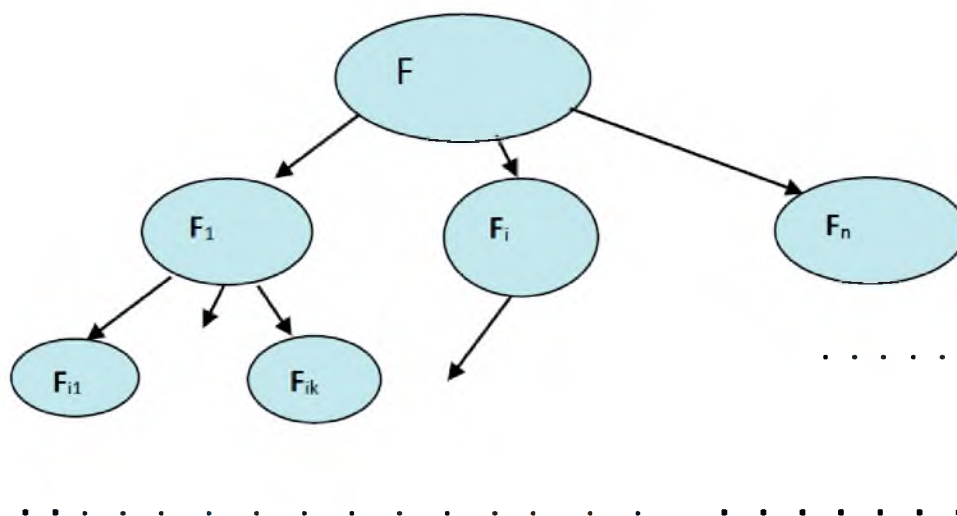


Рис. 1. Иерархия процесса управления

Концептуальные принципы управления эффективностью производственной системы

Неотъемлемой составляющей основы реализации единого подхода к процессу управления эффективностью ПС создания перспективных РКТ (далее – процесса) являются следующие концептуальные принципы:

- объектная ориентация методологии процесса;
- линейная координация конструкторских, технологических, ПС решений и соответствующих проектных задач;
- иерархическая субординация и упорядоченность процесса;
- единство и упорядоченность выполнения типовых процедур процесса;
- единство структуры описаний проектных решений;
- синтезирование вариантов управления;
- многокритериальный выбор вариантов управления;
- нечеткое подобие проектных решений.

Очевидно, что единый методологический подход к формированию вариантов программ развития ПС, адаптируемых к различным типам К, видам Т, типам ПС, должен основываться на обобщенных положениях теории проектирования иерархических

систем применительно к условиям типовых мероприятий и процедур процесса формирования ПС.

Однако содержание и структура мероприятий и процедур проектирования ПС определяются содержанием массивов данных о текущем состоянии определенных групп объектов проектирования (К, Т, ПС), которые, в свою очередь, задают соответственно иерархии проектных задач, массивы знаний об объектах проектирования (варианты целевых ситуаций и кластеров критериев, области значений параметров объектов, варианты типовых структур объектов или их фрагментов) (рис. 2).

При этом неизменным остается состав и последовательность выполнения процедур данного процесса: $B \rightarrow inv$, тогда как их содержание определяется составом информации предметной области формирования ПС: $p \rightarrow var, p = f(G(t_{np}))$.

На любой стадии ЖЦИ РКТ процесс формирования К, Т, ПС-решений представляет собой цепочку организационно обособленных, параллельно-последовательно решаемых задач. Принятие решений для задач цепочки, во-первых, зависит от исходной информации, которая может быть получена либо от предшествующей задачи (для формирова-

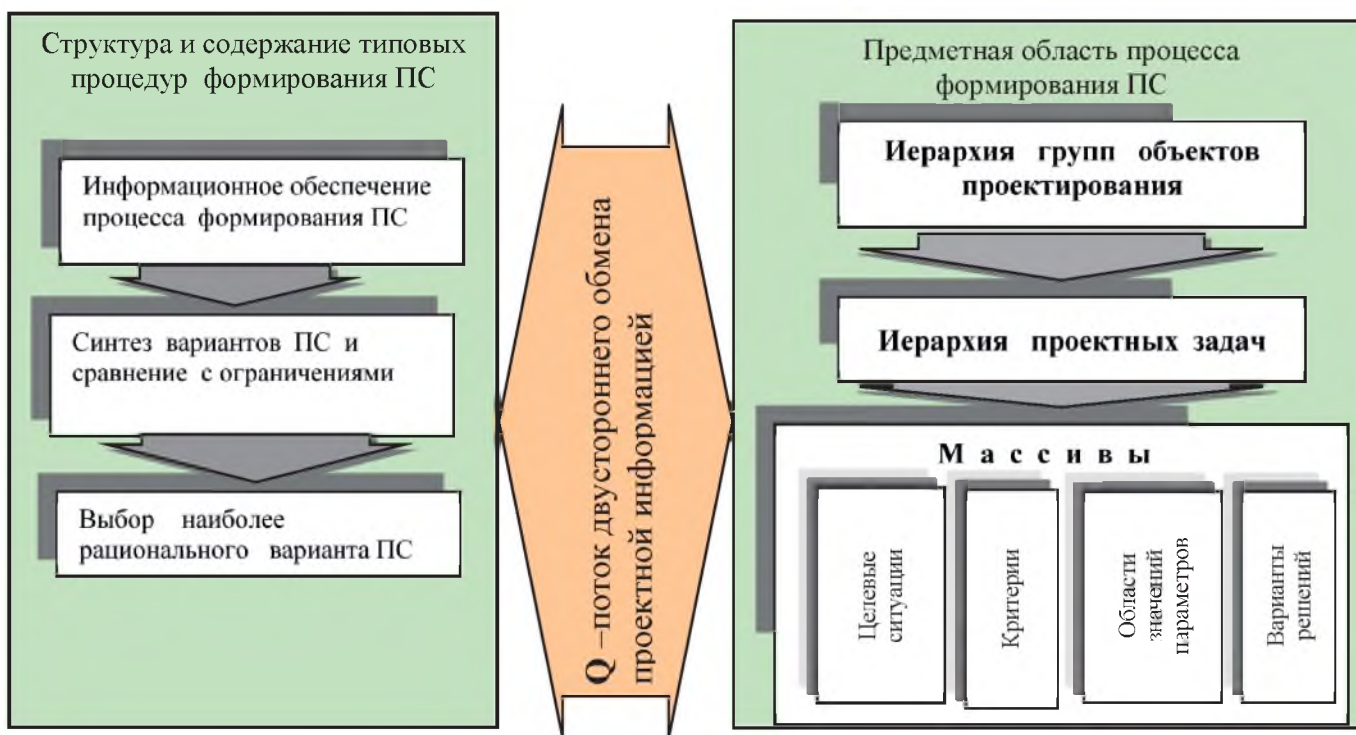


Рис.2. Схема процесса выполнения проектных работ

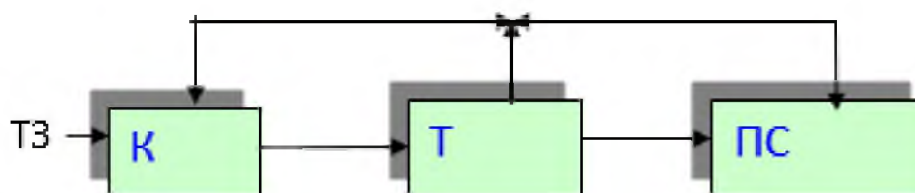


Рис.3. Линейная координация К, Т, ПС-решений и соответствующих проектных задач

ния Т, ПС), либо является исходной информацией для начала процесса проектирования (для К); во-вторых, координируется с условиями и ограничениями последующих задач, стоящих справа в цепочке (рис. 3). Данное положение раскрывает суть принципа линейной координации К, Т, ПС-решений.

Принцип иерархической субординации и упорядоченности регламентирует структуру процесса как доминантную многоуровневую иерархию.

С учетом положений общесистемного подхода к управлению различными сложными объектами можно указать на ряд типовых уровней управления, основными из которых являются [4, 5, 6, 7]: формулировка (идентификация, постановка) целей

управления, определение (выявление) объектов управления, синтез модели (моделей) управления, идентификация (определение) параметров моделей управления, синтез управления, оценка и выбор варианта управления, коррекция управления.

Иерархия процесса строится с вершины (целей процесса) через промежуточные уровни к самому нижнему уровню (наиболее рациональный тип управления, согласованный по всем критериям проектных задач). Иерархия процесса предполагает субординацию и упорядоченность уровней. Решения, полученные на верхних уровнях иерархии, являются исходными данными для формирования решений на последующих уровнях (рис. 4).



Рис. 4. Иерархическая субординация и упорядоченность процесса формирования ПС

На вершине иерархии процесса осуществляется постановка (формулировка) цели:

$$\tilde{Q}_i \xrightarrow{\tilde{s}} \tilde{Q}_i^*, \quad (12)$$

где: \tilde{Q}_i – цель, заданная в начале процесса, \tilde{Q}_i^* – уточненная цель процесса после определения базового образца изделия РКП.

Цель управления рассматривается в качестве модели планируемого уровня эффективности ПС создания изделия РКП конкретного класса (типа, вида, конструктивного ряда) с заданным уровнем показателей ТУ. На данном этапе заказчиком для перспективной номенклатуры группы изделий заданного типа системы РКП по результатам прогнозных исследований определяется (устанавливается) передовой базовый образец изделия (системы) РКП с показателями мирового уровня. В этом контексте, применительно к основной цели управления эффективностью ПС создания перспективных изделий РКП относится определение (расчет, моделирование, прогнозирование и т.д.) соответствующих значений показателей ПС, обеспечивающей значения (уровни) показателей передового базового образца изделия (системы) РКП в заданном классе изделий и передового предприятия-изготовителя РКП при минимальных или ограниченных заданными значениями затратах основных видов ресурсов (денежных, материальных, трудовых, временных – C, T_p, t_{np}).

На втором уровне осуществляется выделение структуры объектов управления, то есть номенклатуры тех составных частей перспективных изделий РКП заданного класса и ПС, значения показателей которых отстают от требуемых уровней на заданном временном интервале t_{np} :

$$\tilde{Q}_i \xrightarrow{\tilde{s}} \Pi_i \quad (13)$$

На третьем уровне осуществляется структурный синтез моделей управления эффективностью ПС, под которым понимается формирование регрессионных и (или) функциональных зависимостей показателей ПС от определяющих параметров (проектных, ресурсных, производственно-технологических факторов):

$$\tilde{Q}_i \Pi_i \xrightarrow{\tilde{s}} \tilde{S}_i. \quad (14)$$

На данном уровне определяется схема членения и показатели ТУ изделия заданного класса, а также

структура массивов КТР и ПС, которые формируют перечень определяющих параметров.

На четвертом уровне производится идентификация параметров моделей управления. Основная цель четвертого уровня состоит в завершении формирования модели (моделей) объектов управления показателями эффективности ПС:

$$\{\tilde{Q}_i, \Pi_i\} \rightarrow \tilde{U}_i. \quad (15)$$

Применительно к рассматриваемой задаче управления идентификация связана с установлением численных значений показателей эффективности ПС в режиме нормального протекания процессов создания и производства изделий РКП без организации специальных управляющих воздействий. Исходной информацией для идентификации параметров моделей управления является структура заданного класса изделия (его облик) и статистические данные наблюдений за входами и выходами ПС при взаимодействии с внешней средой при его создании и производстве [6, 8, 9, 10]. Состав и результаты статистических наблюдений за входами и выходами ПС предопределяются целями управления. Полученная модель (модели) является исходной для процесса синтеза управления.

На данном уровне при структурном синтезе модели (моделей) объекта управления выявляется характер управляемых и неуправляемых воздействий на объект и структуру модели (моделей), то есть вид зависимостей параметров выбранных целей $\left\{ \{C, W_\varphi, T_p, t_{np}, P(t), TУ\}_i \right\}$ от компонент программы формирования ПС в обеспечение ТУ изделия-типопредставителя, а также их относительного количественного содержания компонент в общей целевой функции (то есть величин u_i).

Таким образом, в рамках структурного синтеза модели объекта управления определяется вид следующих функций $\varphi(j=1,2...6)$. При этом в первую очередь определяется структура нечеткого множества управленческих решений по программе исследований по перспективным вариантам ПС для обеспечения заданных значений показателя ТУ для параметра Π_i с выходными показателями:

$$\left\{ C, W_\varphi / \mu_\varphi(W_\varphi), \lambda_\varphi, T_p, t_{np}, P(t), TУ \right\}_i - \tilde{U}_i = \left\{ u_{ik}^{\Pi} \right\}. \quad (16)$$

Для этого формируется описание на содержательном уровне перечня конструкторско-технологических, ресурсных, производственно-технологических

факторов, непосредственно влияющих на параметры цели $\left\{C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TV\right\}_i$, и определяется вид зависимостей:

$$\begin{aligned} C_i &= \varphi_{11}(U_i), W_{\varphi i} = \varphi_{12}(U_i), T_{pi} = \varphi_{13}(U_i), \\ t_{npi} &= \varphi_{14}(U_i), P(t)_i = \varphi_{15}(U_i), TV_i = \varphi_{16}(U_i). \end{aligned} \quad (17)$$

В первом приближении формируются линейные зависимости вида:

$$\begin{aligned} \varphi_{11}(U_i) &= \sum_{i=1}^n c_{i1} u_i; \varphi_{12}(U_i) = \sum_{i=1}^n c_{i2} u_i; \varphi_{13}(U_i) = \sum_{i=1}^n c_{i3} u_i; \\ \varphi_{14}(U_i) &= \sum_{i=1}^n c_{i4} u_i; \varphi_{15}(U_i) = \sum_{i=1}^n c_{i5} u_i; \varphi_{16}(U_i) = \sum_{i=1}^n c_{i6} u_i. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь $c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, c_{i4}, c_{i5}, c_{i6}$ – относительные коэффициенты качества показателей, $C_i, W_{\varphi i}, T_{pi}, t_{npi}, P(t)_i, TV_i$, определяемые, соответственно, путем проведения экспертных исследований на основе соответствующих эвристических и статистических процедур анализа аналогичных ситуаций программ обеспечения ТУ изделий заданного класса и эффективности ПС [11, 12, 13].

На пятом уровне осуществляется непосредственно синтез вариантов управления (управленческих решений):

$$\tilde{U}_{ik}^{П_i}, П_i \rightarrow \{\tilde{U}_{ik}\}. \quad (19)$$

Данный этап связан с синтезом управления для достижения цели создания изделия заданного класса с показателями $\left\{C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TV\right\}_i$ не ниже (или превышающих) уровней передовых мировых образцов изделий и предприятий мирового уровня в некоторый программный период. Это решение основано на цели и модели управления, полученной информации о состоянии среды и выделенных основных видах ресурсов (денежные, трудовые, материальные, временные), которые обычно представляют собой ограничения, накладываемые на управление в связи со спецификой объектов и возможностями системы управления. В общем случае управление представляет собой программу изменения управляемых параметров (в нашем случае показателей $C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TV$) во времени.

На шестом уровне производится согласование вариантов программ развития ПС на множестве показателей (критериев предпочтения)

$\left\{C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TV\right\}$ и выбор наиболее рационального варианта:

$$\{\tilde{Q}_{ik}\} \xrightarrow{\left\{C, W_{\varphi}, T_p, t_{np}, P(t), TV\right\}} \tilde{E}_i. \quad (20)$$

В случае получения недостаточно согласованного варианта E_i переопределяется цель процесса и процесс повторяется вновь с первого уровня.

На седьмом уровне осуществляется коррекция управления. Данный этап обусловлен специфическими особенностями конкретных классов (типов, видов, конструктивных рядов) изделий, процессов их разработки и производства на ранних стадиях ЖЦИ и заключается в возвращении к одному из более ранних уровней управления (уровни 1... 6). Вследствие неполноты, устаревания либо утраты достоверности информации, отражающей состояние объектов управления на ранних стадиях ЖЦИ РКП, решения, принимаемые на предыдущих уровнях, в целом ряде практических случаев, как правило, оказываются достаточно приближенными.

При этом коррекция может затрагивать различные уровни управления. Наиболее простой и часто встречающийся случай коррекции связан с уточнением параметров модели управления (адаптацией модели). В практических ситуациях при управлении показателями эффективности ПС может оказаться, что модель не обеспечивает необходимой вариабельности (разнообразия) управляемого входа объекта для последующей эффективной коррекции параметров модели. Другими словами, модель недостаточно типовая (гибкая, универсальная). Однако коррекция параметров модели может оказаться недостаточной при изменении структуры системы, то есть произошли серьезные изменения в конструкторско-технологических решениях основополагающих элементов, важнейших деталей, узлов, схемных решений и прочее в конкретных классах, типах, видах, конструктивных рядах изделий, а также в процессах разработки и производства этих изделий. Поэтому в определенные моменты времени необходимо осуществлять корректировку структуры модели, то есть приведение ее в соответствие с изменяющейся структурой объекта. Здесь под определенными моментами времени следует понимать некоторые контрольные интервалы, в которых следует проконтролировать динамику управления объектами. Некоторые достаточно общие методологические подходы по уста-



новлению оптимальных контрольных интервалов рассматриваются в [14].

В рамках управления показателями эффективности ПС при значительных эволюционных изменениях как объектов управления, так и окружающей среды необходима коррекция их границ, позволяющая в таких случаях установить новые взаимосвязи уточненных объектов и среды.

Перечисленные семь уровней в совокупности представляют адаптивную систему управления эффективности ПС, которая может приспосабливаться к изменяющимся условиям и свойствам управляемых объектов и среды, а также к потребностям заказчика. Благодаря процедуре коррекции система управления приводится в соответствие с объектами управления и изменяющейся средой таким образом, чтобы своевременно и достаточно полно удовлетворялись цели управления.

Отметим, что последовательное выполнение всех приведенных этапов необходимо, когда задача управления процессами создания и производства новой конкурентоспособной техники и технологии решается на макроэкономическом уровне, то есть при рассмотрении перспектив и возможностей развития целого ряда отраслей промышленности и страны в целом.

Принцип единства структуры описаний проектных решений является основой создания отраслевой БЗ ИАО процесса управления эффективным развитием производства перспективных РКП.

Основными функциями процедуры информационного обеспечения являются:

- формирование, оперативный и избирательный поиск дискретных описаний конструкторских (К), технологических (Т), ПС-решений, производственных условий и ограничений, нормативов, норм, стандартов и прочее;
- обеспечение эффективной обратной связи процесса.

В существующей практике поиск информации отнимает значительную часть времени, отводимого на проектирование, что обусловлено возрастающими объемами и низкой степенью систематизации массивов предметной области (ПО) процесса. Как общий процесс усовершенствования конструкций изделий, технологии и организации их производства, так и более динамичные процессы изменения номенклатуры изделий РКП, смены оборудования, оснащения и реорганизации ПС приводят к непрерывному об-

новлению структуры и состава компонентов ПО. В этих условиях своевременность и рациональность принимаемых решений будут недостаточны.

Поэтому необходимы разработка и внедрение единой модели предметной области, устойчивой к изменениям массивов данных и знаний. Эта модель должна обеспечивать:

- систематизированное описание объектов ПО;
- оперативный и избирательный поиск информации;
- накопление информации без качественного изменения структуры ПО.

Очевидно, что модель ПО должна быть типовой. В противном случае различия в структурах организации данных проектировщиков, решающих в процессе формирования Т разные проектные задачи, в значительной степени затрудняют обмен проектными данными, адекватную их оценку проектировщиками, что, как следствие, приведет к росту сроков и затрат на организацию процесса стратегического планирования промышленных технологий.

Модель ПО должна представлять собой иерархическую систему описаний К, Т, ПС – решений, где на каждом уровне элементы описаний объединяются по близости соответствующих конструктивных (функциональное назначение, форма, материал, размеры), технологических (вид технологии, технологический метод и пр.), организационных (вид производства, тип производства, специализация и пр.) признаков. Многообразие форм описаний и требование устойчивости модели ПО к их изменениям создают необходимость применения фасетно-иерархического подхода, реализующего гибкую систему классифицирования [15, 16].

Принцип синтезирования вариантов ПС регламентирует метод формирования производственных решений.

Как отмечалось выше, разработка вариантов программ развития обеспечивает перевод ПС от исходного к целевому состоянию. Целевое состояние отличается от исходного фрагментами структуры, параметрами отдельных систем или элементов. Достижение проектного решения, реализующего целевое состояние, обеспечивается исключительно путем синтеза новых решений, что означает формирование и итеративное уточнение комбинаций (кластеров) решений или их фрагментов, реализованных в исходном состоянии (рис. 5).

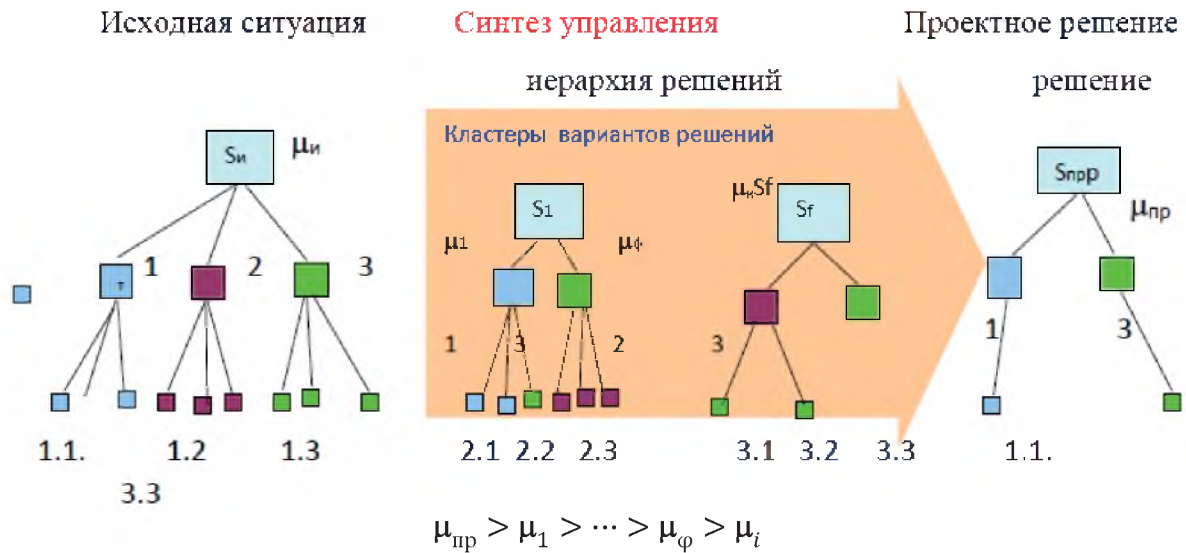


Рис. 5. Синтез вариантов ПС

Как отмечено выше, задача управления опережающим развитием ПС РКП в связи с неполнотой или полным отсутствием информации о факторах внутренней и внешней среды является неструктурированной либо слабоструктурированной. Поэтому для сокращения множества вариантов решений данную задачу целесообразно разбить на две подзадачи:

- формирование области рациональных вариантов программ развития ПС путем многокритериальной оценки альтернатив с привлечением критериев, характеризующих организационно-технические показатели производственно-технологической базы;
- выбор наилучшего варианта из этой области по стоимостному критерию.

Первая подзадача необходима для того, чтобы сузить область поиска, поскольку число альтернативных программ развития ПС столь велико, что подробное сравнение вариантов оказывается невозможным. Поэтому на первом этапе целесообразно провести многокритериальное сравнение альтернатив по критериям, не требующим трудоемких расчетов, структура, состав и значения которых на практике устанавливаются экспертными методами. Процедура сравнения позволит получить упорядоченное по степени предпочтительности множество вариантов решений. В связи с огромным количеством информации получение полного упорядочения практически невозможно, поэтому результатом выполнения подзадачи является область рациональных вариантов. Выбор состава и значений критериев определяется экспертами в зависимости от цели процесса управления [11, 13, 17].

В целях сокращения области исследования рациональных вариантов на практике целесообразно формировать и рассматривать не каждый вариант программы по отдельности для каждого конкретного параметра конструкции Π_i , по которому необходимо добиться условия $TU_i(\Pi_i, T_i, P(t)_i) \geq TU_{задi}$, а обобщенные типовые варианты программ развития ПС для группировок Π_i (нечетких кластеров) вариантов программ, объединенных по принципу конструкторско-технологического подобия. При этом в случае недостижения условия $TU_i(\Pi_i, T_i, P(t)_i) \geq TU_{задi}$ или неполучения упорядоченного множества вариантов программ производится последующая итерация уже для уточненного кластера Π_i .

Порядок проведения итераций формирования вариантов и многокритериального выбора программ формирования программ развития ПС регламентируют принципы многокритериального выбора и нечеткого подобия ПС-решений. Принцип нечеткого подобия ПС-решений регламентирует механизм проведения итераций формирования программ развития производства перспективных изделий РКТ. Решения, входящие в кластеры вариантов промышленных ПС-решений, обладают между собой фрагментарным (нечетким) подобием, которое обуславливается характером соответствия множества признаков, характеризующих кластеры решений, и множества требований, регламентируемых целями формирования ПС.

Обобщенные цели формирования ПС, как правило, выражены в форме множества конструкторско-технологических и производственно-экономических показателей, а также диапазонов их значений.



Принятие решения о соответствии ПС-решения обобщенной цели формирования ПС определяется следующими критериями:

- описания кластеров ПС-решений включают в качестве подмножества набор признаков, характеризующих целевые требования;
- значения количественных признаков описаний ПС-решений не выходят за пределы диапазонов, регламентированных целевыми требованиями.

Очевидно, что при этом признаки описаний, отбираемых по указанным критериям ПС-решений могут фрагментарно или полностью не совпадать друг с другом. Поэтому в общем случае кластеры формируемых ПС-решений обладают нечеткими мерами подобия.

Таким образом, принцип нечеткого подобия ПС-решений определяет формирование ПС, как итеративный процесс поиска наиболее согласованных ПС-решений на базе уточнения нечетких кластеров ПС-решений.

Принцип многокритериальности регламентирует подход к решению проблемы выбора проектных решений при формировании ПС.

Выбор наиболее рационального варианта ПС, согласованного по множеству критериев предпочтения, характеризуется значительным числом шкал оценки значений и весов критериев. Поскольку различие в подходах к оценке критериев приводит к несогласованности ПС-решений и, соответственно, к избыточным итерациям, увеличению сроков и затрат на формирование ПС, то решение проблемы выбора требует применения типовых методов, обеспечивающих операции сведения оценок критериев в единую форму, оценки весов критериев и выбора согласованного варианта [15, 18].

Принцип единства и упорядоченности типовых процедур формирования вариантов промышленных технологий для перспективных РКП регламентирует единую иерархию типовых процедур процесса развития промышленных технологий. Единая иерархия предполагает упорядоченное выполнение комплекса типовых процедур процесса развития промышленных технологий:

- информационное обеспечение;
- формирование рациональных вариантов;
- выбор наиболее рационального варианта.

Согласно принципу единства и упорядоченности типовых процедур, процесса развития промышлен-

ленных технологий единый комплекс типовых процедур формирования управления необходимо применять на любом уровне иерархии и в условиях любых проектных задач процесса. Иерархия типовых процедур процесса должна обеспечивать упорядоченное выполнение его этапов.

Процессы $F_i \subset F$ имеют типовую иерархию, включающую два этапа (рис. 6).

Первый этап – информационное обеспечение управления процесса развития ПС;

второй этап – синтез вариантов управления и выбор из них наиболее рационального.

Задача первого этапа состоит в постановке целей управления, определении объектов управления, структурном синтезе модели (моделей) управления, идентификации параметров моделей управления. В рамках этапа осуществляется выявление и последовательное уточнение предметных областей объектов управления S_i , в рамках которых будут синтезироваться варианты управления эффективностью ПС U_i .

Задача первого этапа представляется в виде:

$$\tilde{Q}_i \rightarrow P_i, \tilde{S}_i, \tilde{U}_i, \quad (21)$$

где: \tilde{S}_i – кластер объектов управления, то есть ПО (поле задачи), в пределах которой будет осуществляться синтез вариантов U_i .

Решение данной задачи обеспечивается путем последовательного решения следующих задач второго уровня:

- формализованное описание, систематизация, накопление, хранение, корректировка, оперативный поиск на базе единых принципов описаний К, Т, ПС-решений, целей, задач, параметров и критериев предпочтения в системе массивов ПО управления процессами развития промышленных технологий для перспективных изделий РКП;
- постановка целей управления.

В рамках первой задачи второго уровня осуществляется приведение в единую форму описания и систематизация массивов $P_i, \tilde{Q}_i, \tilde{S}_i, \tilde{U}_i$.

В рамках второй задачи второго уровня осуществляется последовательное выполнение функций первых шести уровней типовой иерархии процесса, таких как:

- постановка целей управления;
- определение объектов управления;

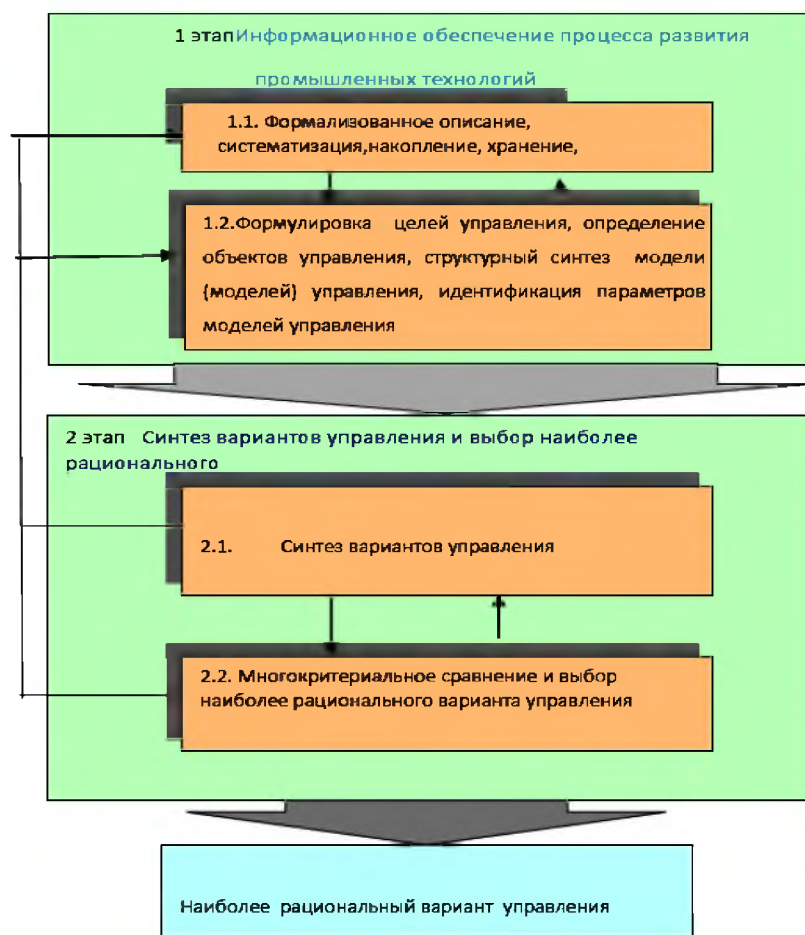


Рис. 6. Типовая иерархия процесса формирования ПС

- структурный синтез модели (моделей) управления;
- идентификация параметров моделей управления.

В большинстве случаев на ранних стадиях ЖЦИ РКП цель управления процесса развития промышленных технологий Q_i задана недостаточно детализировано (нечетко), что порождает большое количество вариантов решений на каждом последующем уровне (шаге декомпозиции) процесса и делает процесс практически неуправляемым.

Синтез вариантов управления путем перебора сочетаний из множеств P_i , \tilde{S}_i , \tilde{U}_i , как показала практика, невозможен.

Чтобы избежать избыточных итераций в процессе \tilde{F}_i , необходимо сформировать группировки (кластеры) P_i , обладающие наибольшей мерой конструкторско-технологического подобия μ_i и для их типового представителя сформировать варианты моделей управления. В случае неполучения адекватного критериям выбора числа вариантов управления производится

уточнение кластера P_i путем разбиения на более мелкие с более высокой мерой подобия, и процесс синтеза моделей управления перезапускается.

Для этого решаются две подзадачи:

- формирование кластера P_i на базе нормативно или экспертно установленной меры конструкторско-технологического подобия признаков μ_i ;
- уточнение кластера P_i путем разбиения на более мелкие с более высокой мерой подобия.

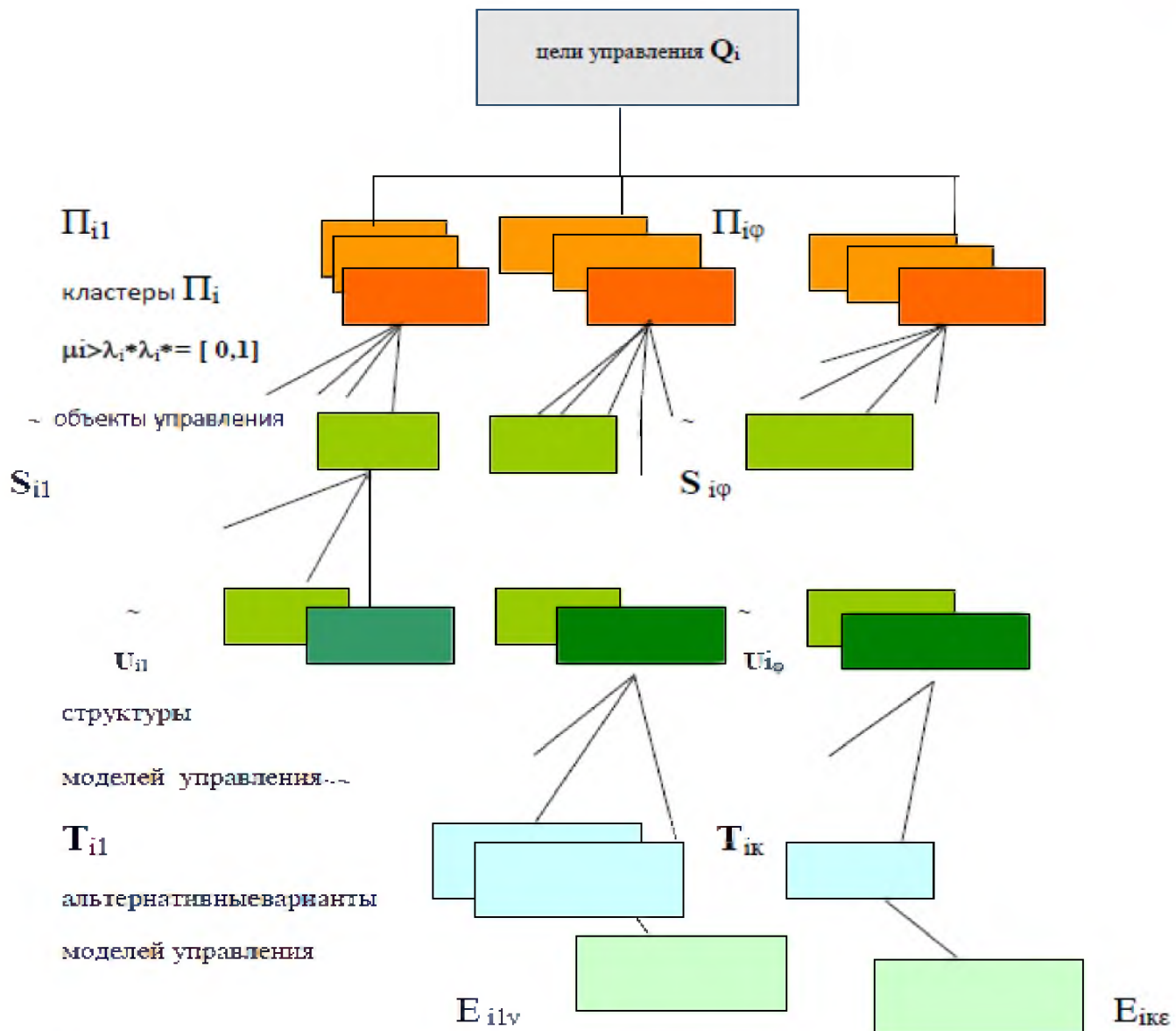
Обобщенно решение подзадачи уточнения кластера P_i требует выполнения двух шагов:

- установления порога меры подобия $\lambda_i^* = [0, 1]$ кластера P_i (экспертно);
- разбиения кластера P_i по принципу, что мера подобия $\mu_i > \lambda_i^*$.

Алгоритмы уточнения нечетких кластеров приведены в [15, 19].

Для полученного типопредставителя кластера P_i производится декомпозиция процесса вплоть до синтеза и идентификации параметров моделей управления (рис. 7).





Наиболее предпочтительные варианты моделей управления

Рис. 7. Синтез и выбор вариантов управления процессом формирования ПС

Задачей второго этапа является синтез вариантов управления и выбор из них наиболее рационального. Решение главной задачи второго этапа обеспечивается путем последовательного решения частных задач:

– синтез вариантов управления:

$$P_i \xrightarrow{\tilde{S}_i^* \tilde{U}_i} \{\tilde{T}_{ik}\}; \quad (22)$$

– многокритериальное сравнение и выбор наиболее рационального варианта управления:

$$\{\tilde{T}_{ik}\} \xrightarrow{\{C, W, \varphi, T, P, t_{np}, P(t), TY\}_i} \tilde{E}_i. \quad (23)$$

Выводы

1. Рассмотрены особенности реализации системного подхода к управлению эффективностью развития производственной системы ракетно-космической промышленности с ранних стадий жизненных циклов космических систем посредством программно-целевого планирования.

2. Показана структурная модель процесса управления эффективностью производственной системы ракетно-космической промышленности.

3. Обоснованы концептуальные принципы реализации структурной модели управления эффективностью производственной системы.

4. Рассмотрены процедуры информационного обеспечения процесса управления эффективностью

производственной системы, обоснована необходимость создания отраслевой базы знаний и базы данных.

5. Показаны процедуры синтеза и многокритериального выбора вариантов управления эффективностью производственной системы в условиях неполноты/отсутствия информации на ранних стадиях создания космических систем.

6. Реализация структурной модели как основы отраслевого организационно-технического механизма управления эффективностью производственной системы требует разработки комплекса научно-методического, программно-математического и нормативного обеспечения.

Библиографический список

1. Соломонов Ю.С., Шахтарин Ф.К. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность. – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.: ил.
2. Типовая методика формирования производственных систем. Пантелеев К.Д. // Вестник машиностроения. – 2008. – №6. – С. 76–81.
3. Интегративно-декомпозиционный подход к формированию производственных систем на ранних стадиях жизненных циклов ракетно-космической техники. Пантелеев К.Д. // Вестник машиностроения. – 2008. – №5. – С. 77–81.
4. Апполонов И.В., Хариев Н.И. Общий системный подход к управлению созданием конкурентоспособной продукции и некоторые важные частные модели // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. Журнал. – М.: ВИМИ. – 2007. – №4. – С. 10–24.
5. Исаченко В.А. Новые принципы подхода и формирования научных исследований в области техники и технологии / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1985. – С. 17–23.
6. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения КТР / Труды XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1985. – С. 24–28.
7. Ясин Е.Г., Ракитская Г.Я. К вопросу о классификации функций управления // Сб. статей. Статистика и электронно-вычислительная техника в экономике. – М. – 1968. – вып. 2. – С. 3–21.
8. Мироносецкий Н.Б. Моделирование процессов создания и выпуска новой продукции. – Новосибирск: Наука, 1976. – 282 с.: ил.
9. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Сов. радио, 1980. – 236 с.: ил.
10. Исаченко В.А. Методологические основы технологического обеспечения проектирования изделий ракетной техники: дис. д-р. техн. наук: 05.07.04: защищена 27.05.1986: утв. 25.09.1986 / Исаченко Владимир Александрович. М., 1986. 383 с. Машинопись.
11. Матвеев Ю.А. Методы прогнозирования характеристик летательных аппаратов. – М.: Изд. МАИ, 2004. – 79 с.: ил.
12. Моделирование научно-технического прогресса в машиностроении / Г.А. Краюхин, Ю.А. Львов, А.Д. Коробкин и др.; под общ. ред. Г.А. Краюхина. – Л.: Машиностроение, 1987. – 272 с.: ил.
13. Основы синтеза систем летательных аппаратов: Учебник / А.А. Лебедев, Г.Г. Аджимамудов, В.Н. Баранов и др.; Под ред. А.А. Лебедева. – М.: МАИ, 1996. – 444 с.: ил.



14. Апполонов И.В., Астахов Ю.П., Разумовский В.А. и др. О получении и использовании информации по результатам испытаний однотипных технических устройств при проведении инженерно-технических экспертиз в ходе расследования причин отказов в работе техники // Журнал. Оборонный комплекс – научнотехническому прогрессу России. – М.: ВИМИ. – 2008. – №2. – С. 3–25.
15. Пантелеев К.Д. Разработка типовой методики формирования организационно-технологической структуры производства изделий ракетной техники с ранних стадий проектирования конструкции и технологии: дис. канд. техн. наук: 05.02.08.: защищена в 1993 г.: утв. 20.12.1993 / Пантелеев Константин Дмитриевич. М., 1992. 180 с. Машинопись.
16. Белов В.В., Пантелеев К.Д. Формирование рациональной организационно-технологической структуры производства изделий на ранних стадиях проектирования // Вестник МГТУ. – Сер. Машиностроение. – 1992. – №1. – С. 115–125.
17. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения экспертных оценок. – М.: Ленанд, 2015. – 352 с.
18. Денисов А.В. Выбор технологических процессов на ранних стадиях проектирования изделий при многокритериальной оценке вариантов // Тез. докл. Всесоюз. семинара «Проектирование систем ракетного и артиллерийского вооружения». – М.: МВТУ. – 1987. – С. 33–34.
19. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ./ Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.: ил.

Пантелеев Константин Дмитриевич – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».
Тел. 689-95-26 доб.97-01.
E-mail: K.Panteleev@tm.fsa

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

УДК 621.7:389

Кондратенко А.Н.
Kondratenko A.N.

Вопросы метрологического обеспечения ракетно-космической промышленности

Issues of metrological support of the aerospace industry

Рассмотрены актуальные вопросы метрологического обеспечения при разработке и внедрении инноваций, планировании и реализации мероприятий по повышению эффективности современных производств и испытательных баз. Для технического перевооружения активных фондов предложен организационный подход к практической реализации принципа аттестации испытательных средств «по состоянию».

Current issues of metrological support during development and implementation of innovations, planning and implementation of measures to improve the efficiency of modern production and testing facilities are considered. For technical re-equipment of active assets an organizational approach to the practical implementation of the principle of certification of testing facilities «by state» is proposed.

Ключевые слова: аттестация, метрологическое обеспечение, ракетно-космическая промышленность, ракетно-космическая техника, средства измерений, испытания.

Keywords: certification, metrological assurance, aerospace industry, aerospace equipment, measuring instruments, testing.

Современный этап развития российской ракетно-космической промышленности (РКП) предполагает повышенное внимание системному подходу и актуализации нормативной документации в обеспечение требуемого качества и надежности создаваемой и производимой продукции. Например, только в 2021 году головной организацией по технологиям создания ракетно-космической техники (РКТ) и метрологическому обеспечению ее производственно-технологической базы АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» проведена проверка 365 документов по стандартизации РКТ, проведена актуализация 160 документов по стандартизации РКТ, разработаны проекты двух национальных и двух отраслевых стандартов [1]. При этом всего за АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» закреплено более 1400 документов по стандартизации РКТ [1]. На рубеже 2020 года актуализирована

национальная нормативная документация по метрологическому обеспечению выпускаемой продукции (ГОСТ РВ 0015-002-2020, ГОСТ РВ 0008-003-2019, ГОСТ РВ 0008-006-2020). В силу специфики предметной области РКТ распространение и права доступа к ряду нормативных документов ограничены, а для их правильной трактовки и понимания в ряде случаев требуется обращение к специалистам высокой профессиональной квалификации.

В силу обстоятельств в статье «Актуальные вопросы метрологического обеспечения ракетно-космической промышленности» (НТЖ «Вестник «НПО «Техномаш» №3(20) за 2022 год) автором допущен ряд досадных неточностей, устранение части которых представлено в табл. 1, а также указан ряд материалов, утративших актуальность и не соответствующих современной нормативной и законодательной базе.

Метрологическое обеспечение производственно-технологической базы

Для успешного создания и производства перспективных изделий РКТ важнейшим направлением является метрологическое обеспечение, которое, являясь самостоятельным видом технического обеспечения, считается одним из ключевых факторов, определяющих

качество изделий РКТ, прогресс в развитии перспективных изделий РКТ, получение требуемых характеристик изделий и технологических процессов, гарантирует полноту, точность и достоверность измерений, проводимых при производстве и испытаниях РКТ.



Таблица 1. Корректировка нормативных ссылок

	Напечатано в старой редакции	Требуется в новой редакции
В разделе «3. Аттестация испытательного оборудования»	«...ГОСТ Р 8.568-97 [5] ...»	«...ГОСТ Р 8.568-2017 [5] ...»
В разделе «3.2 Аттестация испытательного оборудования»	«... в соответствии с ГОСТ РВ 15.002-2003 и ГОСТ РВ 8.573-2000...»	«... в соответствии с РВ 0015-002-2020, ГОСТ РВ 0008-002-2013...»
В разделе «4 Метрологическая экспертиза»	Все упоминания «...ГОСТ РВ 8.573-2000 ...»	«...ГОСТ РВ 0008-003-2019...»

Организация метрологического обеспечения строится на основе требований и положений законов Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» [2], «О стандартизации» [3] и ряда других федеральных законов и нормативных правовых актов. В Госкорпорации «Роскосмос» создана и функционирует система метрологического обеспечения создания, производства, эксплуатации и утилизации РКТ, метрологического обеспечения работ на космодромах, а также реализации совместных проектов и программ в области международного сотрудничества в установленной сфере деятельности Госкорпорации «Роскосмос». АО «НПО «Техномаш» им С.А. Афанасьева» – головная научно-исследовательская организация (ГНИО) по метрологическому обеспечению производственно-технологической базы РКТ, АО «ЦНИИмаш» – ГНИО по работам, проводимым в отношении комплексов всех назначений, их составных частей и систем.

С учетом требований [4] метрологическое обеспечение производственно-технологической базы (МО ПТБ) РКТ – это метрологическое обеспечение измерений, выполняемых на ней, которое представляет собой «... совокупность элементов и процессов, необходимых для получения измерительной информации с заданными свойствами ...».

Элементы МО ПТБ – «... эталоны, единицы величин и шкалы измерений; поверочные и калибровочные установки; средства измерений, стандартные образцы; вспомогательное оборудование; методики (измерений, поверки, калибровки, испытаний, контроля, аттестации, метрологической экспертизы); операторы (специалисты, выполняющие измерения, поверители, калибровщики, испытатели и др.); условия измерений (испытаний, поверки, калибровки и др.)...» [4].

К технологическим процессам МО ПТБ относятся:

– установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений; выбор принципов, методов и методик измерений, проектирование и выбор элементов МО ПТБ; стандартизация, унификация и агрегирование используемой контрольно-измерительной техники;

– разработка, внедрение и аттестация современных методик выполнения измерений, испытаний, контроля; метрологическая экспертиза технической документации и другое; испытания в целях утверждения типа, поверка и калибровка контрольно-измерительного оборудования; метрологическая аттестация испытательного оборудования;

– контроль состояния и использования контрольно-испытательной аппаратуры; проведение анализа состояния измерений, подготовительные и вспомогательные работы в обеспечение поддержания функционирования МО ПТБ;

– другое [4].

Проводимые техническое перевооружение, технологическая модернизация, соответствующая реконструкция и новое строительство предприятий и организаций ракетно-космической промышленности (РКП) при интенсивном внедрении новых наукоёмких технологий обуславливают обязательное опережающее развитие технических средств метрологии, в том числе опережающее развитие измерительных и калибровочных возможностей метрологического обеспечения. Остро ощущается потребность инноваций в упреждающем развитии методологии и техники измерений, а также развитии нормативно-технической базы. В докладе Национального института стандартов и технологий (NIST) США дана наиболее полная оценка основных факторов, сдерживающих ускорение разработки и внедрения инноваций и повышение технологической и технико-экономи-

ческой эффективности современных производств и испытательных баз передовых космических государств на мировом рынке современных технологий. Отмечается одиннадцать основных направлений, в которых остро ощущается потребность инноваций в упреждающем развитии методологии и техники измерений [5], суть которых сводится к трем обобщающим и основополагающим положениям:

- основным препятствием на пути инноваций практически во всех сферах экономики, обороны, экологии по-прежнему остается недостаточная точность различных методов и средств измерения (СИ);

- практически во всех новых технологиях сдерживающим фактором служит отсутствие точных и достаточно чувствительных датчиков различных величин, необходимых для реализации мониторинга процессов в реальном масштабе времени и создания систем управления не только новыми технологическими процессами, но и условиями окружающей среды;

- отсутствие стандартов, эталонов, подходящих систем единиц, протоколов для оценки качества создаваемых технологий, включая недостаточную совместимость и неэффективное взаимодействие программного и аппаратного обеспечения устройств управления разрабатываемых технических средств, которые также служат нередко непреодолимым барьером для инноваций во многих развивающихся технологиях.

На начало 20-х годов состояние материально-технической базы метрологического обеспечения ис-

пытаний ПТБ РКП характеризуется следующими показателями и критериями:

- из более миллиона применяемых средств измерений [6, 7]:

- более 83 % выпущено промышленностью более 20 лет назад, ≈ 14 % имеют возраст от 10 до 20 лет; ≈ 3 % имеют возраст до 10 лет;

- калибруется ≈ 74 %, поверяется ≈ 20 %, не обслуживается ≈ 6 %;

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

Уровень морального и физического износа средств метрологического обеспечения проведения испытаний достиг критического значения и негативно влияет на качество (в первую очередь достоверность и информативность) результатов проведения испытаний продукции. Другим следствием критического состояния метрологического обеспечения ПТБ РКП является фактическая доля аттестованных методик измерений ≥ 46 % от применяемых $\approx 1,4$ тыс. методик измерений.

Причины такого положения:

- низкие (недостаточные) темпы технического перевооружения (рис. 1);

- организации и предприятия мало включают измерительное оборудование в инвестиционные проекты и программы технического перевооружения.



Рис. 1. Коэффициенты обновления и выбытия активных основных фондов РКП, рассчитанные в ценах одного года



Для современного этапа развития целесообразно в качестве целевых принять показатели состояния материально-технической базы метрологического обеспечения ПТБ РКП по состоянию на начало 1992 года:

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

Основные главные задачи метрологических служб организаций и предприятий РКП формулируются в положениях о метрологической службе, разрабатываемых с учетом положения о метрологической службе Госкорпорации «Роскосмос» и в соответствии с типовым положением о метрологической службе государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц [8], согласно которому главными задачами метрологических служб (ГЗМС) государственных органов управления и юридических лиц являются:

- «... обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня и развитие техники измерений в объединениях, на предприятиях; определение основных направлений деятельности и выполнение работ по метрологическому обеспечению исследований, разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции или иных областей деятельности;
- внедрение современных методов и средств измерений, автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, информационно-измерительных систем и комплексов (далее – средств измерений), эталонов, применяемых для средств измерений;
- осуществление метрологического контроля путем калибровки средств измерений, проверки своевременности представления средств измерений на испытания в целях утверждения типа, а также на поверку;

Аттестация испытательного оборудования «по состоянию»

Одной из наиболее трудоемких и дорогостоящих процедур программ обеспечения качества и надежности РКТ являются испытания РКТ и ее составных частей [7, 9], которые проводятся на аттестованном испытательном оборудовании. Аттестация испытательного оборудования, функцией которого

– осуществление надзора за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методами выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемыми для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений».

Таким образом, направленность ГЗМС учитывает решение проблемных вопросов потребности инноваций в упреждающем развитии методологии и техники измерений.

Необходимо отметить, что бурное развитие вычислительной техники, информационных и телекоммуникационных технологий также ставит перед метрологией новые задачи и открывает новые возможности:

- информационные технологии облегчают сотрудничество между метрологическими лабораториями, способствуют более быстрому, доступному и эффективному обучению персонала, обмену информацией и т.д.;
- развитие вычислительной техники сделало возможным осуществлять некоторые сличения и поверки на расстоянии. Во многих случаях это сокращает расходы на транспортировку и время их проведения.

По финансово-экономическим соображениям невозможно, а иногда и не нужно, чтобы каждая организация или предприятие имели собственное эталонное оборудование, коэффициент использования которого не превышает 10–20%. Организации и предприятия (например, территориально объединенные) должны участвовать в отраслевом сотрудничестве и отраслевом разделении труда. Совершенствование поверочной деятельности в РКП целесообразно осуществлять за счет обновления имеющейся в федеральных государственных учреждениях центров стандартизации и метрологии поверочной базы, приобретения нового современного поверочного оборудования и освоения новых видов поверки.

является воспроизведение требуемых условий испытаний, предполагает определение нормируемых точностных характеристик оборудования, их соответствия требованиям нормативной документации и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации.

Рассмотрим особенности аттестации испытательного оборудования на современном этапе развития экспериментально-испытательной базы наземной экспериментальной отработки (ЭИБ НЭО) РКТ и на производственно-испытательной базе (ПИБ) РКП [10].

На начало 2022 года состояние испытательного оборудования ЭИБ НЭО РКТ и ПИБ РКП характеризовалось следующими показателями и критериями [7]:

- доля испытательного оборудования с возрастом до 10 лет – $\approx 34,8\%$;
- доля испытательного оборудования с возрастом до 11–20 лет – $\approx 12,8\%$;
- доля испытательного оборудования старше 20 лет – $\approx 52,4\%$;
- загрузка Z производственных мощностей ПИБ РКП в период 2010–2021 годов – $31\% \leq Z \leq 47,0\%$, в период 2018–2021 годов – $31\% \leq Z \leq 34,0\%$;
- невозможность ремонта значительного количества средств испытаний, обусловленная «режимом санкций» западных государств, а также снятием с производства потребной элементной базы и комплектующих.

Такое состояние испытательного оборудования (доля испытательного оборудования старше 20 лет – $\approx 52,4\%$) приводит к объективным сложностям при его аттестации – многие технологические системы не обеспечивают изначально определенные паспортные характеристики испытательных средств и т.д. Требуется их дальнейшая последовательная технологическая модернизация при реконструкции и техническом перевооружении испытательной базы РКП. В то же время темпы проводимого технического перевооружения недостаточны (рис. 1). В ряде случаев складывается ситуация, когда практические реализуемые воспроизводимые условия испытаний удовлетворяют требуемым в более узких диапазонах по сравнению с изначально определенными паспортными характеристиками средств испытаний, а реализуемый воспроизводимый диапазон условий испытаний соответствует практически необходимому для решения требуемых в настоящее время задач.

Как обеспечить в сложившихся условиях аттестацию испытательного оборудования для обеспечения проведения на нем испытаний РКТ?

Одним из выходов в сложившейся ситуации является реализация организационного подхода по практической реализации принципа аттестации

«по состоянию» – с учетом текущего технического состояния испытательного оборудования, условий его применения, а также предъявляемых технических требований к методам и средствам испытаний. Системную основу аттестации испытательного оборудования составляет априорная информация о зависимости характеристик технических средств испытаний от характеристик объектов испытаний. Эффективное использование этой зависимости позволяет оптимизировать методы и средства аттестации. В любых случаях управление метрологическим обеспечением испытаний РКТ и ее составных частей и аттестация испытательного оборудования осуществляются в соответствии с действующей нормативно-методической базой.

Следует отметить, что при аттестации, как правило, нецелесообразно, а в ряде случаев невозможно, поверить средства измерений, входящие в состав испытательного оборудования. С одной стороны, такие средства измерений относятся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, а с другой – обеспечивают функционирование сложной технической системы, точностные характеристики которой комплексно оценивают в процессе ее аттестации. Если испытательное оборудование обеспечивает воспроизведение условий испытаний с заданными характеристиками, то это косвенно подтверждает необходимые метрологические свойства средств измерений, входящих в состав испытательного оборудования. В этом случае проверка встроенных средств измерений не требуется. Исходными принципами решения вопроса о необходимости поверки встроенных средств измерений являются общесистемные принципы функционирования открытых и изолированных систем. В каждом конкретном случае окончательное решение данного вопроса принимается при первичной аттестации или на этапе экспертизы методики аттестации. Наиболее эффективным направлением разработки методов и средств аттестации сложных испытательных комплексов является взаимодополняющее применение методов поверки средств измерений из состава испытательного оборудования и аттестованных методик выполнения измерений.

В типовой методике в качестве требования к коэффициенту точности устанавливаются отношение погрешности измерений в рабочих условиях к допускаемому отклонению равному 3, что и рекомендо-



вано в нормативных документах на испытательное оборудование или на методы испытаний конкретной продукции. При этом следует учитывать, что погрешность измерений включает погрешности средства измерений и метода измерений. Выполнение указанного выше соотношения можно контролировать расчетно-экспериментальными методами оценки суммарной погрешности измерений при первичной аттестации.

Средства аттестации должны не только обладать метрологическим запасом по точности и обеспечивать достоверный анализ результатов аттестации, но и быть мобильными, эксплуатироваться в ши-

роком диапазоне внешних условий, а также иметь гибкую модульную структуру, позволяющую исключить избыточность функций и свойств, и при этом учитывать особенности аттестации конкретного испытательного оборудования.

Соответственно задачи метрологического обеспечения средств измерений, применяемых как в составе испытательного оборудования, так и для его аттестации, должны решаться в соответствии с установленными метрологическими правилами и нормами. В настоящее время для этого создана вся необходимая нормативно-правовая, методическая и техническая база.

Выводы

1. Основные сдерживающие факторы разработки и внедрения инноваций и повышения технологической и технико-экономической эффективности современных производств и испытательных баз:

- недостаточная точность различных методов и средств измерения;

- отсутствие точных и высокочувствительных датчиков различных величин, необходимых для реализации мониторинга процессов в реальном масштабе времени и создания систем управления не только новыми технологическими процессами, но и условиями окружающей среды;

- отсутствие стандартов, эталонов, подходящих систем единиц, протоколов для оценки качества создаваемых технологий, в том числе недостаточная совместимость программного и аппаратного обеспечения устройств управления разрабатываемых технических средств.

2. Обоснована актуальность проведения первоочередных мероприятий по техническому перевооружению эталонной базы и средств измерений РКП. Предложен организационный подход аттестации испытательных средств «по состоянию», основанный на анализе текущего технического состояния испы-

тательного оборудования, условий его применения, а также предъявляемых технических требований к методам и средствам испытаний, комплексной совокупной оценке точностных характеристик средства измерений и испытательных средств как сложной технической системы.

Автор благодарит ведущего специалиста метролога отрасли, директора Центра метрологического обеспечения РКТ АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» Богданца А.В. за указание на ряд погрешностей в публикации «Актуальные вопросы метрологического обеспечения ракетно-космической промышленности» в НТЖ «Вестник «НПО «Техномаш» №3(20) за 2022 год и необходимость переработки материалов указанной статьи в части устранения ошибок и соответствия современной нормативной и законодательной базе; а также руководителя направления Отраслевого центра метрологического обеспечения качества РКТ и технического регулирования АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» Макарова А.С. за консультации и ряд ценных советов при редактировании статьи.

Библиографический список

1. Рябчиков П.В., Тарасов В.В., Журков В.В. Вопросы качества и надежности, реализуемые в рамках Программы стандартизации ракетно-космической техники // Вестник «НПО «Техномаш». – 2022. – №1. – С. 72–76.

2. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26.06.2008 №102-ФЗ; принят Государственной думой 11.07.2008; одобрен Советом Федерации 18.07.2008. (С изменениями и дополнениями вступил в силу с 28.12.2021) – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27684> (дата обращения 10.11.2022).



3. О стандартизации в Российской Федерации: Федеральный закон от 29.06.2015 №162-ФЗ; принят Государственной думой 19.07.2015; одобрен Советом Федерации 24.07.2015. (В редакции федеральных законов от 05.04.2016 №104-ФЗ, от 03.07.2016 №296-ФЗ, от 30.12.2020 №523-ФЗ) – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27684> (дата обращения 23.01.2023).
4. ГОСТ Р 8.820-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
5. Степанов А.В., Храменков А.В. Обеспечение единства измерений и СМК // Стандарты и качество. – 2005. – №4. – С. 80-85.
6. Власов Ю.В., Кузин А.И., Поморцев П.М., Кондратенко А.Н. Состояние технологической готовности и метрологического обеспечения производственно-технологической базы отрасли для обеспечения бездефектного производства перспективных изделий РКТ, проблемные вопросы и предложения по их решению // Вестник «НПО «Техномаш». – 2019. – № 9. – С. 79–83.
7. Кондратенко А.Н. Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности // Вестник «НПО «Техномаш». – 2020. – №2. – С. 21–32.
8. Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц: ПР 50-732-93; введены 01.01.1994 утверждены постановлением Госстандарта России 30.12.1993 № 295.
9. Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Состояние и направления развития производственной испытательной базы РКП // Вестник «НПО «Техномаш». – 2018. – №8. – С. 23–26.
10. Кузин А.И., Кондратенко А.Н., Кондратенко М.А. Перспективы развития экспериментальной и испытательной баз производства изделий РКТ // Вестник «НПО «Техномаш». – 2017. – №4. – С. 21–24.

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

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

УДК 657.372

*Распопова Н.П., Кондратенко А.Н., Иванин А.А., Дегтярев Б.Д., Иванов В.Н.
Raspopova N.P., Kondratenko A.N., Ivanin A.A., Degtayrev B.D., Ivanov V.N.*

Нормативные и методические проблемы организации и проведения технологического аудита и технологического проектирования

Regulatory and Methodological Problems of Organising and Carrying out Process Audits and Process Design

Рассмотрены нормативные и методические проблемы организации и проведения технологического аудита и технологического проектирования при планировании и обосновании технологической модернизации, реконструкции, технического перевооружения, нового строительства организаций. Обоснована актуальность введения понятия «технологическое проектирование» в градостроительный кодекс. Изложены особенности организации технологического аудита.

The normative and methodical problems of organisation and carrying out process audit and process design at planning and substantiation of process modernisation, reconstruction, technical re-equipment, new construction of organisations are considered. The urgency of introducing the concept of «process design» in the town planning code is substantiated. The peculiarities of organization of technological audit have been set out.

Ключевые слова: градостроительный кодекс, производственные объекты, реконструкция и техническое перевооружение, технологический аудит, технологическое проектирование, технологическая модернизация, технологические решения, ракетно-космическая промышленность.

Keywords: town-planning code, production facilities, reconstruction and technical re-equipment, process audit, process design, process modernization, technological solutions, aerospace industry.

В настоящее время определение и основные положения, регламентирующие цели, задачи и процедуру проведения технологического аудита регламентируются [1–3]. Решение проблемных вопросов и развитие методологии технологического аудита [4] имеют особую значимость и актуальность в условиях отсутствия предпроектной стадии реконструкции, технического перевооружения и нового строительства

(РиТП), а также необходимости выполнения решения Президента Российской Федерации от 23.01.2021 «... об организации проведения технологического аудита...» и норм [5, 6]. Прежде чем перейти к рассмотрению современных вопросов методологии технологического аудита, проанализируем непосредственно связанные с ними вопросы неоднозначного определения технологического проектирования.

1. Технологическое проектирование

1.1. Технологическое проектирование изделия

При разработке нового изделия или его модификации разрабатывается конструкторская документация (КД) и технологическая документация (ТД), в том числе директивная. ТД на изделие содержит директивный технологический процесс, который «... устанавливает совокупность принципиальных технологических решений для разработки рабочих технологических процессов и должен содержать маршрутный технологический процесс на основные методы получения заготовок, обработки, сборки, монтажа и испытаний изделий; перечень специ-

ального технологического оснащения, указания по специфике организации производства, а также директивную трудоемкость» [7]. Директивный технологический процесс (директивная технология) является неотъемлемой и неизменяемой частью разработанного (разрабатываемого) изделия. Иначе это будет другое изделие или его другая модификация. ТД разрабатывается на стадии аванпроекта, эскизного проекта, рабочей документации, как результат выполнения проектных работ (проектирования). В этом случае, поскольку разрабатывается ТД, в со-

стае которой определяется директивная технология, логично обозначить этот процесс технологическим проектированием изделия (ТПИ).

Дадим определение ТПИ, так как в действующей нормативной документации этот термин не определен. ТПИ – разработка технологического решения в обеспечение создания [7] изделия на основа-

нии технического (или технологического) задания на разрабатываемое изделие, где обязательным элементом является разработка и определение директивного технологического процесса. В общем случае ТПИ включает разработку технологических частей аванпроектов и эскизных проектов в соответствии РК-11-КТ.

1.2. Технологическое проектирование производства

В действующей нормативной документации – ГОСТ Р 58916-2021, ГОСТ Р 58918-2021 – технологическое проектирование определено как «... разработка технологического решения на основании технического или технологического задания на объект проектирования, являющегося основой технологического раздела проектной документации на объект капитального строительства и включающего задания разработчикам других разделов проекта» [2, 8], а согласно ГОСТ 3.1109-82 [4]:

- комплект технологической документации (КТД) – «... совокупность комплектов документов технологических процессов и отдельных документов, необходимых и достаточных для выполнения технологических процессов при изготовлении и ремонте изделия или его составных частей»;

- комплект проектной технологической документации (КПТД) – «... комплект технологической

документации, предназначенный для применения при проектировании или реконструкции предприятия».

Понятно, что технологическое проектирование в [2, 8, 9] в отличие от ТПИ понимается как технологическое проектирование производственных объектов (ТППО), на которых изготавливаются изделия или их составные части. Таким образом, на основе ТПИ разрабатывается КТД, являющейся основой разработки КПТД при ТПО. Для однозначного понимания целесообразно для документов [2, 8–10] рассмотреть возможность трактовки определения «технологическое проектирование» как «технологическое проектирование производственных объектов».

Отметим также, что на этапе проведения ТПИ согласно РК-11-КТ ТПО является укрупненным этапом ТПИ.

1.3. Место технологического проектирования в градостроительном кодексе

Принципиальным представляется решение проблемных вопросов совершенствования градостроительной деятельности в России, являющейся одним из основных определяющих факторов технологической модернизации и инновационного развития экономики страны в целом. Создание современной высокотехнологичной промышленности, эффективно решающей задачи обеспечения экономического и пространственного развития страны, возможно только на основе системного планирования и качественного проектирования. Градостроительный кодекс Российской Федерации [11] – основополагающий нормативно-правовой акт, регламентирующий вопросы проектирования в России.

Однако в действующий градостроительный кодекс практически не включены вопросы, отражающие специфику проектирования и строительства производственных объектов, являющихся одним из основных градообразующих факторов. В част-

ности, в действующей редакции градостроительного кодекса отсутствует понятие «технологическое проектирование». Оно лежит в основе проектных документов, определяющих параметры создания производственных, в том числе промышленных объектов – одного из главных градообразующих факторов. Как следствие, регулирующее воздействие градостроительного кодекса направлено в основном на объекты жилищного и общественного назначения. В действующем градостроительном кодексе [11] определено понятие «градостроительное зонирование», под которым понимается планировка территории для размещения объектов капитального строительства, и используется понятие «архитектурно-строительное проектирование» в контексте проектирования объектов капитального строительства в целом. В градостроительном кодексе не содержится классификации видов проектирования в сфере градостроительной деятельности, а также



не определено понятие «проектирование объектов капитального строительства».

Прямая зависимость социально-экономических условий проживания людей от параметров градостроительных факторов не подлежит сомнению, поэтому технологическое проектирование, являясь субъектом регулирования в сфере капитального строительства, должно рассматриваться в рамках градостроительного законодательства. При проектировании промышленных объектов именно технологические расчеты, планировочные решения и специальные технологические требования являются определяющими для принятия объемно-планировочных и конструктивных решений производственных зданий и сооружений, тогда как при проектировании объектов непромышленного назначения первичными являются архитектурные требования. Процесс проектирования при РиТП является совокупностью архитектурно-строительного и технологического видов проектирования. Эти два вида проектной деятельности проявляются для различных объектов в большей или меньшей степени. Для объектов с преобладающей основной

технологией – приоритетным является технологическое проектирование, для объектов, где технология носит вспомогательный характер – архитектурно-строительное проектирование. Началом проектирования для объектов с преобладающей основной технологией является не архитектурное промежуточное задание, а технологическое проектное задание.

Фактически, «технологическое проектирование» отражено в действующем законодательстве – например ГОСТ Р 58916-2021, ГОСТ Р 58918-2021 [2, 8], но в недостаточной степени. Это приводит к вынужденной необходимости разработки и принятия на законодательном уровне частных отраслевых требований, учитывающих специфику проектирования промышленных объектов, а также снижения объема усредненных абстрактных требований к составу и детализации проектных решений.

Предлагается в новой редакции градостроительного кодекса ввести понятие «Проектирование объекта капитального строительства» и его составные части – «архитектурно-строительное проектирование» и «технологическое проектирование»

2. Технологический аудит

Непротиворечащие друг другу определения «технологического аудита» и основных результатов технологического аудита в действующей нормативно-правовой базе представлены в табл. 1.

Рассмотрим наиболее востребованный технологический аудит организаций ракетно-космической промышленности (РКП) при планировании и определении необходимости технологической модернизации – РиТП.

Анализ [1–3, 8] показывает, что технологический аудит проводится на основании и в соответствии с техническим заданием на технологический аудит, представляет собой процедуру получения экспертных оценок, а работы по технологическому аудиту относятся к расчетно-аналитическим оценкам действующего производства, по результатам которых разрабатываются обязательные части результатов технологического аудита:

– диагностическая часть, которая содержит «... описание задач и критериев технологического аудита, описание использованных методов и методик проведения технологического аудита ...», результаты исследования, результаты технологического

обследования – заключения и выводы технологического аудита по фактическому состоянию производственно-технологической базы проверяемой организации в соответствии с целями и задачами технологического аудита [1, 2];

– аналитическая часть, которая содержит обоснованные рекомендации, соответствующие целям и задачам технологического аудита, в том числе предложения по совершенствованию существующих технологических процессов и их модификации, включая альтернативные решения по составу технологического оборудования с анализом их преимуществ, в том числе с расчетом требуемых затрат и др. [1, 2].

По смысловому значению аудит какой-либо системы – это сравнение данной системы с неким эталоном и определение необходимых мероприятий для достижения эталонного состояния. А что является сравнительным эталоном для технологической модернизации и РиТП организации? Таким эталоном должен стать новый облик производственно-технологической системы организации, который возникнет после проведения технологической модернизации или РиТП.

Таблица 1. Определение понятия «технологического аудита»

Определение понятия	Основные результаты технологического аудита	Источник
<p>«... Технологический аудит: комплекс работ по оценке состояния и возможностей производственно-технологической базы организации, результатов интеллектуальной деятельности в соответствии с техническим заданием на проведение аудита, в том числе для разработки предложений по модернизации производственно-технологической базы ...».</p> <p>«... Технологический аудит применяют в качестве метода оценки технологического состояния проверяемой организации для выявления ее сильных и слабых сторон, формулирования технологической политики и/или плана мероприятий, в том числе технологического перевооружения, направленных на повышение ее эффективности, а также для оценки результатов интеллектуальной деятельности, передаваемых при осуществлении трансфера технологий...»</p>	<p>«...Разработка предложений для подготовки проектов технологического перевооружения в интересах реализации программы развития организации, а также независимая экспертиза проектов технологического перевооружения, ремонта, модернизации и замены технологического оборудования и/или оценка их результативности; ... разработка и обоснование рекомендаций по оптимизации технологических процессов и систем управления ими, планов размещения технологического оборудования, компоновок рабочих мест и логистических потоков в интересах повышения качества, конкурентоспособности и безопасности продукции, снижения ее энерго- и материалоемкости, повышения производительности труда и производственной эффективности организации...» и другое</p>	ГОСТ Р 57194.3–2016 [1]
<p>« ...Работы по технологическому аудиту относятся к расчетно-аналитическим и выполняются для независимой проверки производственного процесса и структуры производства требованиям нормативных актов, современному состоянию технической базы, технологических приемов, организационных методов, обуславливающих эффективность использования трудовых, материальных ресурсов и производственных мощностей, качества продукции в целях оптимизации технологических процессов и повышения качества выпускаемой продукции. В рамках технологического аудита рекомендуется проверять следующие показатели:</p> <ul style="list-style-type: none"> – уровень техники и используемых технологических процессов, в том числе соответствие наилучшим доступным технологиям; – уровень организации производства; – уровень организации труда...» 	<p>Содержатся в аналитической части ТА:</p> <ul style="list-style-type: none"> – предложения по совершенствованию существующих технологических процессов и их модификации, включая альтернативные решения по составу технологического оборудования с анализом их преимуществ, недостатков и технологических рисков; – предложения по изменению численного и качественного состава персонала; – предложения по совершенствованию производственной технологической документации; – возможные сроки и перечень работ по модернизации производства с расчетом требуемых затрат...» 	ГОСТ Р 58918–2021 [2]
<p>«... Технологический аудит представляет собой процедуру получения экспертной оценки действующих технологических решений целого производства, его отдельных подразделений, отдельных технологических решений и рекомендаций по комплексу технологических решений, направленных на повышение конкурентоспособности конкретного предприятия. Технологический аудит часто связывают с понятием трансфера технологий – передачей результатов исследований и разработок, знаний для коммерческого или некоммерческого использования [1]...»</p>	<p>На основе анализа технического и технологического уровней производства, основных фондов, в том числе основных производственных фондов, эффективности труда и эффективности производства, продукции (безубыточности, технологической оснащенности) оценка обоснования целесообразности инвестирования средств в реализацию технологических инновационных проектов, экспертная оценка приоритетных технологических сфер инновационного производства (использования информационных технологий и «облачных» сервисов, автоматизации средств производства, снижение уровня потребления топливно-энергетических ресурсов до уровня, достигнутого предприятиями-лидерами в данном сегменте экономики, снижение экологической нагрузки на окружающую среду). и другое</p>	ГОСТ Р 58920–2021 [3]

Как определить оптимальный новый облик производственно-технологической системы организации (эталон, целевое проектное решение), который удовлетворяет требованиям технического задания на технологический аудит? Действующая нормативно-методическая база не дает четкого ответа на этот вопрос.

Возможные способы решения этой задачи в зависимости от сроков, объемов финансирования и целевых задач проведения работ по технологическому аудиту:

Определение целевого проектного решения по проектам-аналогам [12].

Определение целевого проектного решения экспертным методом на основе известных критериев и показателей [4, 13].

Определение целевого проектного решения на основе результатов технологического проектирования стадии ТППО, рассмотренной в первой части статьи.

В первом случае проблемным остается вопрос существования проектов-аналогов и существующей их оценки на предмет соответствия оптимальному решению. Для второго случая нерешенным остается вопрос выбора полной системы критериев безопасности и определения их требуемых предельных значений.

В общем случае в рамках технологического аудита для разработки аналитической части отчетной

документации, в том числе планов мероприятий по техническому перевооружению и технологической модернизации [1, 2], требуется проведение ТППО. При этом полностью определенным и непротиворечивым становится практическое применение [1–3]. Общий алгоритм проведения технологического аудита при технологической модернизации, РИТП предприятий и организаций представлен на рис. 1. При этом определение целевого проектного решения по проектам-аналогам или экспертным методом на основе известных критериев и показателей можно трактовать как отдельные частные способы реализации технологического проектирования.

Этапы технологического аудита:

1. Технологическое обследование. В процессе технологического аудита проводится анализ номенклатуры изделий, программы их выпуска и конструкторско-технологических особенностей, анализ существующих производственно-технологических мощностей и применяемых технологических процессов, анализ кадрового потенциала, состояния конструкторской и технологической документации, выявляются «узкие» места в производственно-технологической деятельности [1, 3] – реализуется технологическое обследование организации (пункты 1, 2 на рис. 1).

2. Технологическое проектирование (пункты 3 и 4 на рис. 1). Разрабатываются рекомендуемые (новые) технологические процессы и меж-



Рис. 1. Общий алгоритм проведения технологического аудита для обоснования и планирования мероприятий по технологической модернизации, РИТП

цеховые технологические маршруты (проводится «расцеховка») для всех составных частей изделия. Проводятся расчеты необходимого количества оборудования требуемой номенклатуры, расчеты необходимых производственных площадей, разрабатываются принципиальные технологические планировки. Сформированы предложения по новому облику технологической системы [7] – совокупности новых (рекомендуемых) «... функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей...» при условии инвариантности директивного технологического процесса, разработанного при ТПИ. Фактически разработаны исходные данные для проектирования новой эффективной производственной системы [7].

Выводы

Для конкретизации понятия «технологическое проектирование» предлагается определить:

– технологическое проектирование изделия – это разработка технологического решения для создания изделия на основании технического (или технологического) задания на разрабатываемое изделие, где обязательным элементом является разработка и определение директивного технологического процесса, который «... устанавливает совокупность принципиальных технологических решений для разработки рабочих технологических процессов и должен содержать маршрутный технологический процесс на основные методы получения заготовок, обработки, сборки, монтажа и испытаний изделий; перечень специального технологического оснащения, указания по специфике организации производства, директивную трудоемкость...» (ГОСТ Р 57945-2017);

– технологическое проектирование производственных объектов – это разработка технологического решения, в том числе усовершенствованного и более эффективного технологического решения по сравнению с существующим, сохраняющего инвариантным директивный технологический процесс создания изделия на основании технического или технологического задания на объект проектирования, являющегося основой технологического раздела проектной документации на объект капитального строительства и включающего задания разработчикам других разделов проекта на реконструкцию, техническое перевооружение или новое строительство. Технологическое

3. Аналитический отчет технологического аудита (пункт 5 на рис. 1). На основе сравнения действующей и новой (предлагаемой) технологических систем организации разрабатываются [2]:

– предложения по технологической модернизации (совершенствованию действующих технологических процессов) и содержательному (с номенклатурным составом и количеством оборудования) плану технического перевооружения, а также рекомендации по совершенствованию производственно-технологической документации;

– предложения по количественному и качественному составу основного производственного персонала;

– предложения по РИТП с оценкой требуемых затрат.

проектирование производственных объектов также является укрупненным этапом технологического проектирования изделия.

Прямая зависимость социально-экономических условий проживания людей от параметров градообразующих факторов не подлежит сомнению, поэтому технологическое проектирование, являясь субъектом регулирования в сфере капитального строительства, должно рассматриваться в рамках градостроительного законодательства. Однако в действующей редакции градостроительного кодекса отсутствует понятие «технологическое проектирование», что приводит к вынужденной необходимости разработки и принятия на законодательном уровне частных отраслевых требований, учитывающих специфику проектирования промышленных объектов, а также снижения объема усредненных и степени абстрактных требований к составу и детализации проектных решений. Предлагается в градостроительный кодекс внести объект рассмотрения «технологическое проектирование», определить понятие «проектирование объектов капитального строительства», а процесс проектирования рассматривать как совокупность технологического проектирования и архитектурно-строительного проектирования.

Технологический аудит – процедура получения в соответствии с ГОСТ Р 57194.3-2016, ГОСТ Р 58918-2021, ГОСТ Р 58920-2021, ГОСТ Р 58916-2021 экспертной оценки действующих производственно-технологических решений производства



изделий и их составных частей в целях оптимизации технологических процессов и повышения качества выпускаемой продукции, направленная на разработку рекомендаций по повышению качества продукции, эффективности использования производственных мощностей, материальных и трудовых ресурсов, включающая три основных этапа:

- технологическое обследование;
- технологическое проектирование;
- аналитические рекомендации, включающие

обоснованные предложения по технологической модернизации, плану технического перевооружения, необходимой реконструкции и нового строительства, совершенствованию технологической документации, а также соответствующие предложения по оптимизации количественного и качественного состава основного производственного персонала. Предложения по реконструкции, техническому перевооружению и новому строительству разрабатываются с оценкой требуемых сроков и затрат.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 57194.3–2016 Трансфер технологий. Технологический аудит. – М.: Стандартинформ, 2020. – 37 с.
2. ГОСТ Р 58918–2021 Технологический инжиниринг и проектирование. Технологическая документация. Общие требования к составу. – М.: ФГБУ РСТ, 2021. – 9 с.
3. ГОСТ Р 58920–2021 Технологический инжиниринг и проектирование. Технический и технологический аудиты. Основные положения и показатели. – М.: ФГБУ РСТ, 2021. – 11 с.
4. Кондратенко А.Н. Технологический аудит и планирование инвестиционных проектов государственных и федеральных целевых программ // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №2. – С. 25–33.
5. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации и приостановлении действия постановления Правительства Российской Федерации от 12.08.2008 № 590 и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 14.04.2022 №655. – [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204150038> (дата обращения 10.11.2022).
6. Методика оценки эффективности инвестиционных проектов, предусматривающих строительство, реконструкцию, в том числе с элементами реставрации, техническое перевооружение объектов капитального строительства, приобретение объектов недвижимого имущества, финансовое обеспечение которых полностью или частично осуществляется из федерального бюджета в рамках государственного оборонного заказа: утверждена решением президиума (штаба) Правительственной комиссии по региональному развитию в РФ, протокол от 23.06.2022 № 33. – [Электронный ресурс]. URL: http://www.economy.gov.ru/material/file/953fb5d971646d48763fce00074191b0/metodika_grzazhdanskih_obektov.pdf (дата обращения 10.11.2022).
7. ГОСТ Р 57945–2017 Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники. – М.: Стандартинформ, 2018. – 17 с.
8. ГОСТ Р 58916–2021 Технологический инжиниринг и проектирование. Термины и определения. – М.: ФГБУ РСТ, 2021. – 6 с.
9. ГОСТ 3.1109–82 ЕСТД. Термины и определения основных понятий. – М.: Стандартинформ, 2012. – 18 с.
10. ГОСТ Р 58919–2021 Технологический инжиниринг и проектирование. Комплексный анализ потенциальной опасности объекта при проектировании. Общие положения. – М.: ФГБУ РСТ, 2021. – 7 с.
11. Градостроительный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ; принят Государственной думой 22.12.2004; одобрен Советом Федерации 24.12.2014. – [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12138258/> (дата обращения 10.04.2023).
12. О порядке проведения проверки инвестиционных проектов на предмет эффективности использования средств федерального бюджета, направляемых на капитальные вложения: постановление Правительства Российской Федерации от 12.08.2008 №590. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.government.ru/docs/all/65115> (дата обращения 10.11.2022).
13. Кондратенко А.Н. Критерии безопасности ракетно-космической промышленности и особенности формирования перечня промышленных базовых и критических технологий // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – №2. – С. 34–39.

Распопова Наталья Петровна – канд. техн. наук, главный специалист АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»;
Тел.: 8(495) 689-34-04. доб. 23-34.
E-mail: N.Raspopova@tmnpo.ru
Raspopova Natalya Petrovna – Ph.D. in Engineering Sciences, Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-34-04. ext. 23-34.
E-mail: N.Raspopova@tmnpo.ru

Кондратенко Александр Николаевич – канд. техн. наук, эксперт АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»;
Тел.: 8(495) 689-96-90.
E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru
Kondratenko Aleksandr Nikolaevich – Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-96-90.
E-mail: A.Kondratenko@tmnpo.ru

Иванин Алексей Анатольевич – главный специалист АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»;
Тел.: 8(495) 689-00-24 доб. 24-85.
E-mail: A.Ivanin@tmnpo.ru
Ivanin Alexei Anatolievich – Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-00-24 ext. 24-85.
E-mail: A.Ivanin@tmnpo.ru

Дегтярев Борис Дмитриевич – заместитель директора по коммерческим вопросам ООО «Инжиниринговый центр «Гипертех»»;
Тел.: 8(916)811-6114.
E-mail: degtyarev@engineering74.ru
Degtyarev Boris Dmitrievich – Deputy Director for Commercial Affairs, Engineering Centre Hypertech Ltd;
Tel.: 8(916)811-6114.
E-mail: degtyarev@engineering74.ru

Иванов Владимир Николаевич – главный специалист АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»;
Тел.: 8(495) 689-31-73 доб. 24-88
E-mail: VN.Ivanov@tmnpo.ru
Ivanov Vladimir Nikolaevich – Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».
Tel.: 8(495) 689-31-73 ext. 24-88
E-mail: VN.Ivanov@tmnpo.ru



УДК 628.562

Лобанов А.В., Рябчиков П.В., Круглова Ю.В.
Lobanov A.V., Riabchikov P.V., Kruglova Ju. V.

Проблемные вопросы входного и операционного контроля при единичном производстве

Issues of input and output control in single unit production

Представлена специфика проведения входного и операционного контроля при единичном производстве. Обозначены проблемные вопросы – малый объем закупаемой продукции, единичный характер закупки покупных комплектующих изделий, документальное оформление подтверждения соответствия на закупку у поставщиков продукцию, которые не связаны с выполнением государственного оборонного заказа, и предъявление деталей и сборочных единиц на операционный контроль отделу технического контроля.

Specifics of incoming and in-process inspections in one-off production are presented. There were identified problematic issues such as the small volume of procured products, the single purchase of components, documentation of conformity confirmation for products purchased from suppliers that are not related to the state defence order, and the submission of parts and assemblies for operational control to the technical control department.

Ключевые слова: верификация, входной контроль, закупаемая продукция, материалы, полуфабрикаты, покупные (комплектующие) изделия, операционный контроль, детали и сборочные единицы.

Keywords: verification, incoming inspection, purchased products, materials, semi-finished products, purchased products, operational inspection, parts and assemblies.

Одним из направлений операционной деятельности АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» (далее – Общество) является разработка и изготовление специализированных образцов технологического и испытательного оборудования для нужд организаций-изготовителей ракетно-космической промышленности. Специфика такой продукции ранее рассмотрена в [1].

Приобретение закупаемой продукции осуществляется Обществом в соответствии с Федеральным законом [2]. При этом к закупаемой продукции, если она не попадает под действие технических регламентов или не входит в Перечни, утвержденные в соответствии с [3], могут не предъявляться требования, характерные для оборонной продукции в части обязательного подтверждения соответствия.

Проведение входного контроля осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 24297–2013 [4] и ГОСТ РВ 0015–308–2017 для продукции, поставляемой в обеспечение государственного оборонного заказа (далее – ГОЗ).

Вопросы проведения входного контроля в Обществе подробно рассмотрены в [1], где обозначены основные проблемные моменты, касающиеся вход-

ного контроля закупаемой продукции. В развитие положений указанной статьи следует отметить, что в условиях единичного характера производства будет целесообразным проведение входного контроля с привлечением сторонних организаций, имеющих аккредитацию на право проведения анализа химического состава и механических свойств металлических и не металлических материалов.

Как и в вопросах входного контроля, ещё одной специфической особенностью продукции Общества является единичный характер её производства. Определение такой продукции дано в рекомендациях по стандартизации Р 50-605-80-93: «Единичная продукция: отдельное изделие или партия продукции установленного объема, предназначенная для одного заказчика и не предусмотренная к повторному изготовлению» [5]. Единичный характер изготовления продукции Общества имеет одну особенность – изготавливаемые опытные образцы оборудования являются одновременно и поставочными, то есть после прохождения всех предусмотренных циклов испытаний подлежат поставке потребителю.

В соответствии с документами по стандартизации оборонной продукции контроль качества и приём-

ка продукции должны предусматривать, помимо входного контроля и проведения предъявительских, приёмо-сдаточных, периодических, типовых и иных видов испытаний, контроль технологических операций и технологических процессов изготовления изделий в соответствии с требованиями технологической документации. Понятие операционного контроля установлено ГОСТ 16504 «Операционный контроль: контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции» [6].

При этом на уровне межгосударственной и национальной стандартизации требования к объёму и содержанию операционного контроля не установлены. ГОСТ 15.309 [7] и ГОСТ РВ 15.307 не устанавливают критериев и правил проведения операционного контроля. ГОСТ РВ 15.307 даёт лишь общее указание о том, что контроль качества и приемка продукции должны предусматривать, в числе прочего, контроль технологических операций изготовления и испытания изделий в соответствии с требованиями ТУ и документами системы менеджмента качества (СМК) у изготовителя, что и представляет собой операционный контроль.

Порядок операционного контроля должен устанавливаться в документации СМК самой организации. В настоящее время порядок проведения операционного контроля в Обществе установлен СТО 7.5.1-22–2018 «Система менеджмента качества. Контроль качества изделий в процессе производства и испытаний».

В соответствии с указанным стандартом операционный контроль включает в себя несколько этапов:

- контроль материалов, полуфабрикатов и заготовок при запуске их в производство;
- контроль комплектации сборочных единиц, изделий и комплектов;
- контроль деталей и сборочных единиц (далее – ДСЕ) изделий и продукции в процессе выполнения или после завершения технологической операции по их изготовлению (кроме приёмочного контроля).

Операционный контроль проводится в соответствии с Перечнями изделий, сборочных единиц, деталей и операций технологического процесса, подлежащих обязательному предъявлению для контроля качества со стороны Общества (далее – Перечни обязательного предъявления), которые разрабатываются структурными подразделениями Общества.

Единичный характер изготовления продукции Общества требует разработки новых Перечней обязательного предъявления для каждого изделия при организации опытного производства. Распространение ранее разработанных, согласованных и утвержденных Перечней на вновь изготавливаемые изделия является практически невозможным или неприменимым. Вместе с тем единичный характер производства продукции Общества приводит к тому, что возможность применения документов на типовые и групповые технологические процессы носит крайне ограниченный характер, большинство технологических процессов являются единичными.

В документации на единичные технологические процессы (маршрутные или операционные карты, карты технологических процессов) в обязательном порядке должны устанавливаться контрольные операции. В части полноты и достаточности контрольных операций указания средств измерительной техники, применяемых в операциях контроля, технологическая документация на единичные технологические процессы должна быть согласована с отделом технического контроля (ОТК) и метрологической службой.

Соответственно, единичный характер производства продукции Общества влечет за собой определенные особенности. В частности, в соответствии с ГОСТ 2.102 [8] документы, предназначенные для изделий единичного производства, допускается выполнять с упрощениями, указанными в ГОСТ 2.109 [9] и ГОСТ 2.305 [10]. Все это, в свою очередь, оказывает существенное влияние на проведение операционного контроля в процессе изготовления продукции.

Ключевой особенностью являются допускаемые нормативной документацией упрощения при разработке конструкторских документов. На чертежах изделий единичного производства, изделий с большой массой и крупногабаритных изделий, определение массы которых прямым взвешиванием вызывает затруднение, допускается указывать расчетную массу. При этом на чертежах изделий, разрабатываемых в рамках ГОЗ, указание расчетной массы допускается только по согласованию с заказчиком (представителем заказчика). На габаритных и монтажных чертежах, а также на чертежах деталей опытных образцов и единичного производства допускается не указывать массу.



Таким образом, если в требованиях технического задания установлены требования по ограничению массы продукции, то операция контроля массы проводится по фактическим параметрам.

Следующее упрощение при разработке конструкторской документации (КД) – когда допускается не выпускать чертежи на ДСЕ изделий с неразъемными соединениями (сварных, паяных, клепаных, клеенных и т.п.), являющихся составными частями изделий единичного производства, если конструкция такой детали настолько проста, что для ее изготовления достаточно трех-четырех размеров на сборочном чертеже или одного изображения такой детали на свободном поле чертежа.

Кроме того, упрощения при разработке КД на изделия единичного производства допускают не разрабатывать чертежи на детали изделий, форма и размеры которых (длина, радиус сгиба и прочее) устанавливаются по месту, например отдельные части ограждений или настила, отдельные листы обшивки каркасов и переборок, полосы, угольники, трубы и т.п.

Все это также влияет на процессы проведения операционного контроля. При проведении приемки от работников ОТК требуется особый подход к контролю ДСЕ, изготавливаемых по упрощенной КД, формы и размеры которых устанавливаются по месту.

Поскольку при единичном производстве опытный образец является также и поставочным, это оказывает влияние на операционный контроль в процессе отработки изделия, когда по результатам отработки изделия в КД на ДСЕ, уже принятые ОТК, могут быть внесены изменения. При этом соответствующие изменения должны быть внесены и в технологическую документацию (ТД). Могут измениться средства измерительной техники, применяемые при операционном контроле, методы контроля, методики измерений. В ряде случаев по результатам корректировки ДСЕ должны быть изготовлены заново и вновь предъявлены на операционный контроль. Таким образом, ОТК необходимо отслеживать и проверять проведение изменений в КД и ТД при предъявлении продукции на операционный контроль.

Единичный характер изготовления продукции Общества приводит и к тому, что ДСЕ предъяв-

ляются на операционный контроль неритмично, с большими интервалами между предъявлениями. Количество предъявляемых ДСЕ также может существенно различаться, что приводит к неравномерной работе ОТК, осуществляющего операционный контроль.

Исходя из изложенного, можно сформулировать основные проблемные вопросы входного и операционного контроля при единичном производстве:

- отсутствие устоявшейся номенклатуры закупаемых покупных (комплектующих) изделий, полуфабрикатов и материалов;
- необходимость разработки порядка и методов входного контроля отдельно под каждое изделие;
- необходимость разработки Перечней обязательного предъявления отдельно под каждое изделие;
- необходимость установления особых методов контроля ДСЕ, изготавливаемых по упрощенной разработанной КД;
- трудности с процессами автоматизации контрольных операций вследствие нестандартизованной номенклатуры ДСЕ;
- минимальное применение типовых (групповых) технологических процессов при изготовлении ДСЕ и изделий в целом. Применение, в основном, документов единичных технологических процессов, требующих каждый раз согласования ОТК контрольных операций в технологической документации;
- неравномерность предъявления ДСЕ на операционный контроль ОТК.

Перечисленные особенности единичного производства оказывают влияние на себестоимость конечной продукции, а также усложняют возможности стандартизации и унификации технологических процессов и снижения трудоемкости в разрезе общей загрузки производственных мощностей Общества.

Подводя итог, можно отметить, что, несмотря на перечисленные сложности, возникающие в процессе реализации производственной программы, Обществу удается их решать за счет своевременного и тщательного планирования всех этапов изготовления и испытаний продукции, в том числе с учетом дополнительных временных затрат на проведение входного контроля в сторонних организациях.

Библиографический список

1. Лобанов А.В., Жуков В.В., Круглова Ю.В. Проблемные вопросы проведения входного контроля материалов и покупных (комплектующих) изделий // Вестник «НПО «Техномаш». – 2021. – № 3(16). – С. 51–55. – EDN ТХККСУ.
2. О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц: Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ: принят Государственной Думой 08.07.2011; одобрен Советом Федерации 13.07.2011. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33622/page/1> (дата обращения 08.12.2022).
3. Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия, внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 №2467 и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 23.12.2021 № 2425. – [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101090025?ysclid=le6puzbp7h596895877> (дата обращения 08.12.2022).
4. ГОСТ 24297–2013 Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля (с Поправкой). – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
5. Р 50-605-80-93 Рекомендации. Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения. – М.: ВНИИ стандартизации Госстандарта России, 1993. – 79 с.
6. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения (с Изменением № 1). – М.: Стандартинформ, 2011. – 24 с.
7. ГОСТ 15.309-98 Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения. – Система разработки и постановки продукции на производство: Сборник национальных стандартов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.
8. ГОСТ 2.102–2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды и комплектность конструкторских документов (с Поправками). – М.: Стандартинформ, 2020.
9. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к чертежам (с Изменениями № 1–11). – Основные положения: Сборник ГОСТ. – М.: Стандартинформ, 2011. – 32 с.
10. ГОСТ 2.305–2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Изображения – виды, разрезы, сечения (издание с Поправкой). – М.: Стандартинформ, 2020. – 26 с.

Лобанов Андрей Владимирович – главный специалист АО «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева».

Тел. 8(495) 689-95-36, доб. 97-08.

E-mail: a.lobanov@tmnpo.ru

Lobanov Andrei Vladimirovich –Principal Specialist of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: 8(495) 689-95-36, ext. 97-08.

E-mail: a.lobanov@tmnpo.ru

Круглова Юлия Васильевна – специалист АО «НПО «Техномаш» имени С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-95-55, доб. 95-55.

E-mail: yuliya-frolova-1987@mail.ru

Kruglova Iulia Vasilevna – Specialist of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: 8 (495) 689-95-55, ext. 95-55.

E-mail: yuliya-frolova-1987@mail.ru

Рябчиков Павел Вячеславович – директор центра АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-95-94, доб. 23-09.

E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

Riabchikov Pavel Viacheslavovich – Center Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».


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

E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru



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

Подписано в печать 21.07.2023. Выход в свет 21.07.2023. Формат А4.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура TimesNewRoman
Усл.п.л. 9,594. Тираж 100 экз. Заказ №. 26135
Возрастная категория 12+

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

