

1938 - 2023



АО «НПО «ТЕХНОМАШ»

ИМ. С.А. АФАНАСЬЕВА»

Выпуск № 3 (24)  
2023

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# ВЕСТНИК

«НПО «ТЕХНОМАШ»

Геликоидный сильфон с закруткой  
потока  
с.4

ТЕХНОЛОГИИ - ПРОВЕРЕННЫЕ КОСМОСОМ

Подход к выбору  
РАЦИОНАЛЬНЫХ  
ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИИ  
ПО СТОИМОСТНЫМ  
КРИТЕРИЯМ  
с.8

Новые подходы к определению весовых  
коэффициентов значимости показателей  
оценки готовности предприятий к реализации  
зданий производственной программы  
с.29

 РОСКОСМОС

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

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

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

*Члены редакционной коллегии:*

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	<a href="mailto:VestnikTM@tmnpo.ru">VestnikTM@tmnpo.ru</a>
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](mailto:info@tmnpo.ru), web-site: <http://www.tmnpo.ru>



## Уважаемые коллеги!

Современные условия разработки и постановки на производство перспективных изделий ракетно-космической техники требуют снижения затрат по срокам проектирования и изготовления с сохранением высоких требований по качеству и надежности. Острая конкуренция на мировом космическом рынке требует более эффективного использования бюджетных средств и инвестиций и, как итог, достижение минимальной цены выведения единицы массы полезной нагрузки. Поэтому выбор оптимальных технологий на этапах создания изделий позволит получить значительный выигрыш в затратах и времени.



При этом установление четких взаимосвязей между разработкой технологии, методиками оценки результатов внедрения, контроля качества и надёжности является важной задачей, которая позволит успешно конкурировать на рынке космических услуг.

В этом номере журнала рассмотрены вопросы получения прогнозной оценки внедрения результатов опытно-конструкторских работ в технологические процессы и прогноза реализуемости инвестиционных проектов по техническому перевооружению производственной базы ракетно-космической промышленности, представлены структура и особенности выбора рационального варианта технологического процесса.

Также вниманию читателей представлена информация о создании элементов системы технологической надёжности и результатах их апробации на реальном производстве. Отмечена важность сохранения критического объема измерений при снижении затрат серийного производства.

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

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



Г.В. Боровский



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Боровский Г.В.</i> Обращение к читателям .....	1
--	---

### НОВЫЕ ПЕРЕДОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<i>Вайцехович С.М., Власов Ю.В., Зобов Ю.А.</i> Геликоидный сильфон с закруткой потока .....	4
---	---

### СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РКП

<i>Захаров В.А., Пантелеев К.Д., Приходько Н.В., Чернодед И.И., Суворов Я.К.</i> Подход к выбору рациональных вариантов технологии по стоимостным критериям.....	8
---	---

<i>Захаров В.А., Пантелеев К.Д., Приходько Н.В., Чернодед И.И., Суворов Я.К., Цырков А.В.</i> Теоретические и практические аспекты формирования базы знаний структурно-параметрического синтеза технологий (часть 1) .....	17
---	----

<i>Лукьянчик В.В.</i> Новые подходы к определению весовых коэффициентов значимости показателей оценки готовности предприятий к реализации заданий производственной программы.....	29
--	----

<i>Кондратенко А.Н.</i> Систематизация статистических данных и исследования развития активных основных фондов и оборудования ракетно-космической промышленности (часть 1).....	36
---	----

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ И УНИКАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ РКТ

<i>Богданец А.В., Вайцехович С.М., Должанский Ю.М., Захаров М.А., Кочергин С.А., Макаров А.С., Петров М.С., Пушкарев С.А., Семенов В.В.</i> Технологии и специальное оборудование, разработанные и паспортизированные АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в 2023 г. (часть 1).....	58
---	----

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, КАЧЕСТВО И МЕТРОЛОГИЯ

<i>Рябчиков П.В., Назаренко М.Н.</i> Управление качеством на стадиях жизненного цикла. Контроль геометрии как инструмент повышения технологической надёжности .....	68
---	----

## CONTENTS

<i>Borovskii G.V.</i> Message to Readers.....	1
<b>NEW ADVANCED PRODUCTION TECHNOLOGIES</b>	
<i>Vaitsekhovich S.M., Vlasov Iu.V., Zobov Iu.A.</i> Cellular centrifugal separator with flow twisting .....	4
<b>MODERN REQUIREMENTS AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF AEROSPACE ENTERPRISES</b>	
<i>Zakharov V.A., Panteleev K.D., Prikhodko N.V., Chernoded I.I., Suvorov Ia.K.</i> Cost-based approach to selecting rational technology options.....	8
<i>Zakharov V.A., Panteleev K.D., Prikhodko N.V., Chernoded I.I., Suvorov Ia.K., Tsytkov A.V.</i> Theoretical and practical aspects in forming a knowledge base of structural-parametric synthesis of technologies (Part 1).....	17
<i>Lukianchik V.V.</i> New approaches to determining the weighting coefficients of the significance for indicators of assessing the enterprises' readiness to implement production programme targets.....	29
<i>Kondratenko A.N.</i> Statistical data systematisation and research on the development of active fixed assets and equipment of the aerospace industry (Part 1).....	36
<b>SPECIALIZED AND UNIQUE PROCESS EQUIPMENT AND FIXTURE FOR THE AEROSPACE PRODUCTS MANUFACTURING</b>	
<i>Bogdanets A.V., Vaitsekhovich S.M., Dolzhanskii Iu.M., Zakharov M.A., Kochergin S.A., Makarov A.S., Petrov M.S., Pushkarev S.A., Semenov V.V.</i> Technologies and special equipment certified by JSC «Afanasev «NPO «Technomac» in 2023 (Part 1) .....	58
<b>STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY AND METROLOGY</b>	
<i>Riabchikov P.V., Nazarenko M.A.</i> Quality management at life cycle stages. Geometry control as a tool to improve process reliability .....	68

УДК 621.981.23-592:681.322

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

## Геликоидный сальфон с закруткой потока

### Helical bellows with flow twisting

Показано, что переход с накатной рабочей поверхности сальфона (полученной гидроформовкой или накаткой) на спирально-винтовую – геликоидную, повышает эксплуатационные показатели и производительность работы сальфона в условиях осевой неустойчивости, резкого перепада внутреннего давления, накипи химически активных примесей, окислов, солей, химических реагентов и способствует повышению долговечности трубопроводных систем.

Transition from the rolled working surface of the bellows (obtained by hydroforming or rolling) to the helical-screw – helicoidal one is shown to increase the operational indicators and productivity of the bellows under conditions of axial instability, sharp internal pressure drop, scaling of chemically active impurities, oxides, salts, chemical reagents and to improve the durability of pipeline systems.

**Ключевые слова:** трубная заготовка, сальфон, жёсткость конструкции, шаг, спирально-профильная гофра, геликоид, замкнутая полость, вершина, поток, байонет.

**Keywords:** pipe blank, bellows, structural rigidity, pitch, spiral-profiled corrugation, helicoid, closed cavity, apex, flow, bayonet.

Традиционная конструкция сальфонов сформирована гофрами, расположенными под прямым углом к оси трубопровода, и при повышении давления вершины гофров в осевом направлении пропорционально растягиваются и сжимаются. При угловом или параллельном смещении законцовок трубопроводов относительно друг друга боковые стенки гофров компенсируют несоосность законцовок трубопровода угловым разворотом вершин гофров в плоскости, перпендикулярной оси сальфона.

В стандартных сальфонах в процессе перекачки газожидкостного потока в вершинах гофров накапливаются солевые отложения, при повышенных температурах образуются накипи, которые создают условия для возникновения щелевой коррозии, а в случае применения сальфона в ракетной технике возникают вихревые потоки, создающие противодействие, что снижает упругие свойства и прочность материала сальфона.

В вершинах гофров происходит разгерметизация [1] сальфонов, особенно в узлах качания жидкостных ракетных двигателей с дожиганием.

Таким образом, общим недостатком рассмотренных выше сальфонов является наличие «карманов», образованных гребнями гофров, являющихся собирателями окислов, солей и других химически активных элементов, что укорачивает срок службы сальфона. Рёбра гофров, расположенные перпендикулярно течению жидкого или газового потоков, создают силовой подпор, на преодоление которого расходуется полезная энергия.

Если развернуть гофры под углом к оси сальфона и соединить их в сквозную винтовую линию желобковой формы (рис. 1), то это позволит исключить области замкнутого пространства, устранить очаги застоя соляных токсичных отложений, создаст условия для естественного вымывания частей, осаждающихся на внутренних стенках гофров. Кроме того, в продольном направлении спиральный профиль обладает существенной упругостью за счёт возможности сжатия-растяжения ширины гофров [2], находящихся под воздействием высоких градиентов температур и подверженных вибрационным нагрузкам [3].

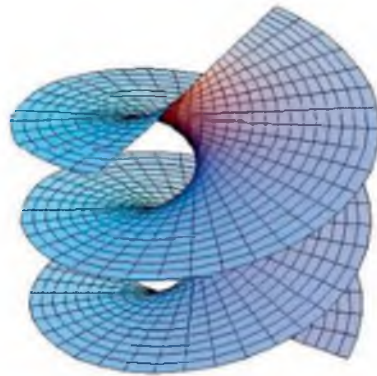


Рис 1. Геликоидная спираль

Конструктивное оформление геликоидных сифонов (одно- и многогофровых) приведено на рис. 2.

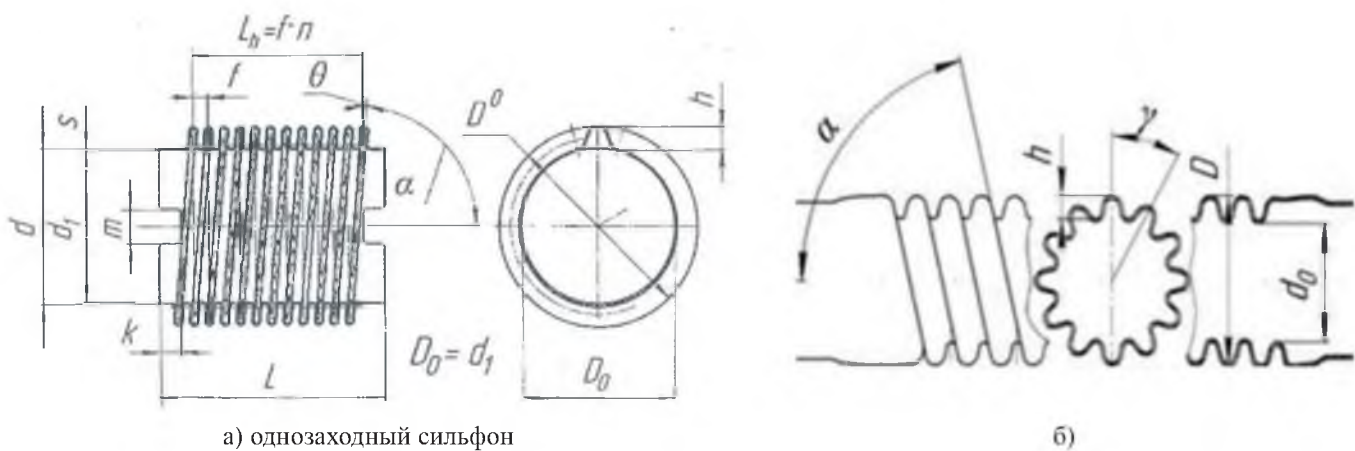


Рис. 2. Схема геликоидного сифона

На рис. 2 приняты следующие обозначения:  $D^0$  – диаметр описанной окружности гофров сифона;  $D_0$  – диаметр впадин;  $h$  – глубина паза;  $m$  – ширина байонетного паза;  $k$  – глубина байонетного паза;  $\alpha$  – угол закрутки винтовой линии, ( $\alpha=68\pm 85^\circ$ );  $\theta$  – угол подъема винтовой линии ( $\theta=90^\circ-\alpha$ );  $d_1$  – внутренний диаметр трубной заготовки;  $d$  – наружный диаметр трубной заготовки;  $s$  – толщина стенки трубной заготовки;  $f$  – расстояние между гофрами;  $k$  – расстояние между центром гофра и законцовкой;  $L$  – общая длина сифона;  $L_h$  – расстояние между крайними гофрами;  $n$  – количество гофров;  $D$  – диаметр описанной окружности;  $d_0$  – диаметр вписанной окружности;  $h$  – высота гофры;  $\gamma$  – угол между гофрами.

Геликоидная поверхность сифона компенсирует осевые и радиальные перекосы в системе

трубопроводов пропорционально числу гофров; снижает гидравлическое сопротивление в трубопроводах, где скорость потока жидких сред более 6 м/с, а газообразных – 30 м/с; компенсирует вибрацию в случае турбулентного течения при выбросе сжатого воздуха и выхлопных газов; разделяет поток жидкости на центральный и периферийные (по числу гофров).

Оптимальное количество гофров в сифонах может варьироваться от 1 до 12 в зависимости от угла закрутки винтовой линии. Для одного гофра угол закрутки потока – от  $65$  до  $85^\circ$  [4], для двенадцатогофрового сифона – от  $45$  до  $65^\circ$ .

Угол закрутки потока ( $\alpha$ ) винтовой линии меньше  $45^\circ$  приводит к увеличению шага винтовой линии, следовательно, и длины рабочей



части геликоидного сальфона. Угол закрутки потока ( $\alpha$ ) винтовой линии больше  $85^\circ$  приводит к усложнению конструкции деформирующего инструмента – роликов и внутренней оправки [4]. Перед профилированием сальфонов законцовки трубной заготовки могут обжиматься до нужных размеров, например методами обработки давлением в закрытых штампах или путём волочения за несколько переходов посредством сменных волок на величину  $1/2$  высоты гофра.

В отличие от традиционной формы сальфонов геликоидные сальфоны относятся к классу дискретно-шероховатых каналов с винтовой симметрией и широко используются в теплообменных холодильных аппаратах. Геликоидные сальфоны могут изготавливаться на прокатно-волочильных станах методом прокатки-волочения с использованием наружных или внутренних оправок и применяться в узлах качания ЖРД (в кардане) в качестве компенсатора трубопроводов топливных отсеков, разделителя в редукторе давления с мембраной свободного прорыва для газогенераторов. В современных установках частота качания законцовок сальфона относительно друг друга составляет от 0,2 до 10 Герц, при угле качания – до  $12\div 15^\circ$ .

С обеих сторон на законцовках геликоидных сальфонов выполняют пазы ( $k \times n$ ) для создания байонетного соединения с трубами системы трубопроводов [5]. Байонетные соединения на торцах сальфона предназначены для снятия круговых напряжений ( $\varepsilon_\theta$ ) скручивания и круговых ( $\sigma_\theta$ ) напряжений, возникающих от осевых деформаций ( $\varepsilon_z$ ) при раскрутке винтовой линии для компенсации избыточного давления в сварном шве системы «труба-сальфон-труба».

Трубная заготовка во время формообразования в спиральный профиль изменяется как по наружному размеру, так и по длине в сторону уменьшения без изменения толщины стенки трубы. Внешний диаметр заготовки уменьшается за счёт складывания её в гофры, а длина заготовки – за счёт сжатия гофров.

Получение гофров на стенке трубной заготовки реализуется различными способами обработки металлов давлением (ОМД): прокаткой-волочением на прокатных станах в роликовой клети; гидроформовкой, нагнетанием давления внутри трубной заготовки с последующим обжатием выпуклых частей стенки трубы подвижными осьцентрированными дисками, а также выращиванием сальфонов на 3D-принтерах.

Количество гофров в поперечном сечении спирального профиля определяется диаметром исходной трубной заготовки, толщиной её стенки и глубиной ( $h$ ) формируемого профиля (рис. 2б). Описанная окружность геликоидного сальфона зависит от толщины стенки трубы ( $s$ ), радиуса ролика и радиуса ребра внутренней профильной оправки.

Двенадцатиугольный профиль, например описанной окружностью  $\varnothing 16$  мм, можно получать из труб разного наружного диаметра в зависимости от толщины стенки гофрированной части трубы; высоты гофров; диаметра описанной окружности спирали ( $D^0$ , рис. 2а); диаметра вписанной окружности ( $d_0$ , рис. 2 б); высоты гофров ( $h$ ); радиуса внешнего ролика; радиуса ребра внутренней оправки; толщины стенки исходной заготовки. Для получения геликоидной поверхности необходимо на прокатно-волочильном стане [6] использовать профильную оправку с количеством впадин, равным числу обжимающих роликов, при этом радиус рабочей части роликов должен соответствовать радиусу впадины профильной оправки.

Например, для получения геликоидного сальфона диаметром описанной окружности  $\varnothing 16$  мм имеется широкий диапазон выбора исходных диаметров круглых труб, например, от 22,6 до 33,7 мм, с толщиной стенки от 0,2 до 0,5 мм. С выбором меньшей исходной толщины стенки трубы уменьшается диаметр описанной окружности спирального профиля [5].

Геликоидные сальфоны могут использоваться в жидкостных ракетных двигателях в системе подачи компонентов топлива в камеру сгорания.

### Выводы:

1. Геликоидная поверхность рабочей части сальфона повышает технико-эксплуатационные показатели энергетического оборудования в условиях осевой неустойчивости, перепада внутрен-

него давления, присутствия химически активных примесей, окислов, солей и химических реагентов, образующихся в момент запуска двигательной установки.





2. Многозаходная форма геликоидного сильфона способствует разделению потока по числу гофров; исключает образование накипи на внутренней поверхности сильфона; предотвращает щелевую коррозию; снижает гидравлическое сопротивление в компенсаторах трубопроводов, где скорость потока более 6 м/с для жидких сред и более 30 м/с для газообразных сред; компенси-

рует вибрацию в случае турбулентного течения при выбросе сжатого воздуха и выхлопных газов.

3. Использование байонетного замка способствует предохранению цилиндрической части законцовок геликоидного сильфона от срезающих нагрузок в местах сварных соединений с трубопроводом и обеспечивает стабильную работу энергетического оборудования.

### Библиографический список

1. Моисеев В.А., Тарасов В.А., Колмыков В.А. Технология производства жидкостных ракетных двигателей. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 381 с.
2. Закрутка потока для повышения эффективности теплообменников: Всерос. конф. (Москва, 9–11.04.2002): Сб. тез. докл. / Орг. ком.: Полежаев Ю. В. (пред.) [и др.]. – Москва: ОИВТ РАН, 2002. – 47 с.: ил.
3. Новые наукоёмкие технологии в технике: энцикл. В 4 т. Т. 2 / К.С. Касаев, И.В. Апполонов, Ю.П. Астахов и др. /под ред. К.С. Касаева. – М.: Аспеки, 1994. – С. 236
4. Вайцехович С.М., Власов Ю.В. Совершенствование оборудования для изготовления интенсификаторов теплообмена и сепарации на базе спирально-профильных труб // Вестник НПО Техномаш – 2023. – №1(21). – С. 4–11.
5. Вайцехович С.М., Власов Ю.В. Разработка технологии и оборудования для изготовления сильфонов со спирально-профильными сквозными гофрами // Заготовительные производства в машиностроении. – 2022. – Том 2. – № 12. – С. 556–565.
6. Вайцехович С.М. Профилирование длинномерных трубных изделий на прокатно-волочильном стане // Технология машиностроения, Москва, ISSN: 1562-322X. – 2022. – №11 (245). – С. 5–11

**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 «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.

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

**Власов Юрий Вениаминович** – канд. техн. наук, генеральный директор АО «НПО «Техномаш» им. С.А. 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».

Тел.: 8 (495) 689-26-12. E-mail: Y.Vlasov@tmnpo.ru

**Зобов Юрий Александрович** – начальник управления АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8 (495) 689-95-33. E-mail: Yu.Zobov@tmnpo.ru  
Zobov Iurii Aleksandrovich – office head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: 8 (495) 689-95-33. E-mail: Yu.Zobov@tmnpo.ru



УДК 338.5

*Захаров В.А., Пантелеев К.Д., Приходько Н.В., Чернодод И.И., Суворов Я.К.  
Zakharov V.A., Panteleev K.D., Prikhodko N.V., Chernoded I.I., Suvorov Ia.K.*

## Подход к выбору рациональных вариантов технологии по стоимостным критериям

### Cost-based approach to selecting rational technology options

Рассмотрены структура и особенности задачи выбора рационального варианта технологического процесса по критерию минимума затрат с учётом заданных требований к показателям качества и ограничениям на время изготовления изделия. Показаны проблематика применения моделей стоимости разработки и технологической наследственности при решении задачи выбора технологий на ранних стадиях создания изделия.

A structure and specific features in the problem of selecting a rational variant of technological process according to the minimum cost criterion, taking into account the given requirements for quality indicators and limitations on the time of product manufacturing are considered. The problematics of the model application for development cost and technological inheritance in solving the problem of technology selection at the early stages of product development are shown.

**Ключевые слова:** конструкторская документация, ракетно-космическая техника, жизненный цикл, технологическое обеспечение, технологический процесс, технологическая наследственность, технологическая платформа, эффективность, база знаний, база данных.

**Keywords:** design documentation, aerospace equipment, life cycle, technological support, technological process, technological heredity, technological platform, efficiency, knowledge base, database.

#### Введение

В современных условиях разработки и постановки на производство перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ) все более актуальной становится задача проектирования по критерию снижения затрат с учётом заданных ограничений по срокам изготовления и требований по качеству и надёжности. Технология изготовления в значительной мере определяет данные показатели разработки. Выбор рациональных вариантов технологии является составной частью решения поставленной задачи, а перенос обоснованного выбора на ранние стадии создания изделий позволяет получить значительный выигрыш в затратах и времени.

В соответствии с ГОСТ Р 55077-2014 «Система технологического обеспечения разработки и постановки на производство изделий космической техники. Основные положения» технологическое обеспечение проектирования необходимо осуществлять на ранних стадиях

разработки изделий РКТ – аванпроект (АП) / техническое предложение (ТП), эскизный проект (ЭП), разработка документации на опытное изделие (РДОИ).

С учётом особенностей информационного обеспечения процессов разработки на данных стадиях, связанных с неполнотой или полным отсутствием информации о технологических методах, процессах, средствах технологического оснащения, задача выбора технологии создания изделий является слабоструктурированной и многокритериальной, поскольку не представляется возможным нахождение единственного варианта технологии и параметров технологических процессов, являющихся оптимальными одновременно для всей триады – «стоимость-время-качество» [1, 2, 3].

Решение проблемы многокритериальности в условиях неполноты информации требует разработки научно обоснованного подхода, комплексно



охватывающего все аспекты выбора технологической системы (ТС) с учётом требований полноты состава, обоснованной глубины детализации, объективной информационной взаимосвязанности и иерархической упорядоченности.

### Задача выбора рационального варианта технологического процесса

В статье рассматривается задача выбора рационального варианта технологического процесса (ТП) по критерию минимума затрат с учётом ограничений на время изготовления изделия, отработки технологии на надёжность, при этом надёжность рассматривается как один из показателей, определяющих качество.

В общем случае постановка задачи имеет вид:

$$C(A_{ТП}^*(\Pi_{ТП}^*)) \rightarrow \min C(\bar{A}(\Pi_{ТП}^*), t, \bar{\Delta}, P) \quad (1)$$

$$t \leq t^{зад}, \bar{\Delta} \leq \bar{\Delta}^{зад}, P \geq P^{зад}$$

где  $\bar{A}$  – вектор альтернатив ТП;  $\Pi_{ТП}^*$  – вектор параметров ТП;  $C = C_{изг} + C_{отп} + C_{бр}$ ;  $C_{изг}$  – затраты на непосредственное изготовление изделия;  $C_{отп}$  – затраты, связанные с отработкой технологии;  $C_{бр}$  – потери от брака при изготовлении (включают затраты, связанные с возможным ремонтом бракованных изделий);  $t = t_{изг} + t_{отп}$ ;  $t_{изг}$  – время изготовления изделия;  $t_{отп}$  – время, необходимое на отработку технологии.

### Метод сужения области поиска альтернатив

Первая подзадача предназначена для того, чтобы сузить область поиска, поскольку число альтернативных технологий столь велико, что подробное и достаточно точное сравнение вариантов оказывается невозможным. Поэтому предлагается на первом этапе выбора провести многокритериальное сравнение альтернатив по критериям, не требующим сложных расчетов, значения которых могут быть сравнительно легко получены на ранних стадиях проектирования. Процедура сравнения на выходе даёт упорядоченное по предпочтительности множество вариантов решений. Но так как получить полное упорядочение очень сложно (требуется большое количество информации), то результатом является не одно «наилучшее» решение, а область рациональных вариантов.

Выбор критериев на этом этапе зависит от того, какую цель преследует инженер-

Одним из возможных и эффективных подходов устранения многокритериальности является рассмотрение одного из критериев в качестве целевой функции с одновременным внесением других в ограничения [4, 5].

При решении поставленной задачи принимается, что альтернатива конструкторского решения изделия определена и заданы требования конструкторской документации (КД) на допуски геометрических размеров, формы, негерметичности и т.д. При этом в процессе решения поставленной задачи эти допуски могут быть уточнены, исходя из требований к надежности, поскольку появляется дополнительная информация, позволяющая более обоснованно подходить к их выбору.

Решение задачи выбора рациональных вариантов ТП предлагается разбить на две самостоятельных подзадачи:

- формирование области рациональных вариантов ТП на основе многокритериальной оценки альтернатив с привлечением дополнительных критериев, характеризующих организационно-технические характеристики предлагаемой производственной базы;
- выбор оптимального варианта ТП из этой области по стоимостному критерию.

проектировщик при разработке технологии.

Например, если проектировщиком предусмотрено, что новое технологическое решение не требует дополнительной обработки на конкретном предприятии, то в качестве критериев допустимо принять использование существующего оборудования, применение стандартного инструмента и средств технологического оснащения, а также показателей технологичности изделия и т.п.

Для решения задачи сужения области поиска достаточно удобным является метод «Электра», разработанный Р. Бенаюном, Б. Руа и Б. Сусманом [5, 6]. В этом методе связь между любой парой альтернатив определяется последовательностью бинарных отношений, то есть сравнение элементов множества альтернатив ТП с помощью многомерного состояния



$K = K_1 \times K_2 \times \dots \times K_n$ , где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  – критерии оценки, сводится к рассмотрению графов упорядочения элементов множества  $A$  по каждому критерию.

На основе выбранного бинарного отношения осуществляется попарное сравнение всех альтернатив. При этом альтернативы, оказавшиеся лучшими при всех сравнениях, выделяются в новое множество, называемое ядром. Поскольку бинарное отношение является отношением доминирования одной альтернативы над другой, при котором одна альтернатива имеет по всем критериям не худшее, а хотя бы по одному лучшие оценки, то сформированное ядро является множеством Парето [6]. После выделения ядра его элементы объявляются несравнимыми. Далее задается более слабое бинарное отношение,

при котором соответствующее ему ядро содержит меньшее число элементов.

Процесс уточнения ядер продолжается до тех пор, пока количество элементов в ядре не достигнет некоторого заданного заранее значения. После этого процедура заканчивается. В результате получается область вариантов технологических решений, в которой обязательно содержится наиболее рациональный вариант.

Для выявления наиболее рационального варианта необходимо привлечение дополнительной информации. При этом необходимо учитывать, что эта область в свою очередь еще может быть достаточно большой и, соответственно, подробный анализ всех вариантов, содержащихся в ней, представляется в значительной степени трудоемким.

### Стоимостные модели в задачах сужения области поиска альтернатив технологических решений

Для большего сужения этой области необходимо привлечение дополнительной информации и вполне обоснованным является привлечение стоимостных моделей [4, 7, 8].

Необходимо заметить, что на данном этапе еще имеется возможность уточнения требований КД, поэтому стоимостные модели удобно строить в зависимости от этих требований (в простейшем, наиболее распространенном случае от допусков на геометрические размеры обработки, сборки и т.п.).

В литературе приведены примеры таких зависимостей, которые могут быть выражены уравнением равнобокой гиперболы:

$$\begin{aligned} C &= C_0 + \delta q^{-\frac{m}{n}}, \\ C &= C_0 + \frac{b}{\delta q}, \end{aligned} \quad (2)$$

где:  $C_0$  – часть стоимости, которая не зависит от точности;  $\delta q$  – точность обработки, сборки и т.п.

Имея такие зависимости для различных альтернатив ТП и учитывая доверительные интервалы этих моделей, а также возможность изменения требований КД, можно существенно уменьшить область поиска, оставляя лишь варианты ТП, требующие меньших затрат и неразличимых между собой по этому критерию вследствие недостаточной точности моделей. Также необходимо заметить, что использование этих моделей позволяет на этом этапе уточнить требования к допускам сборочных единиц, исходя из требований общей сборки.

На этом заканчивается этап выделения области рациональных решений, по результатам которого для дальнейшего анализа останется два-три варианта ТП.

### Выбор оптимального варианта технологического процесса из области альтернатив по стоимостному критерию

Для решения второй подзадачи вводится дополнительная информация в виде ограничений на надежность и время, а также используются уточненные стоимостные модели. Далее приведён состав и содержание ограничений и критериев.

В общем случае затраты складываются из трёх составляющих –  $C_{изг}$ ,  $C_{отр}$ ,  $C_{бр}$ . ТП рассматривается как последовательность технологических опе-

раций (включая операции контроля и возможного ремонта дефектных изделий).

При обработке детали на промежуточной операции возможны следующие исходы, показанные на рис. 1:

- изделие признано годным – вероятность  $P_1$ ;
- возможная необходимость доработки – вероятность  $P_2$ ;





– возможное признание изделия годным после доработки – вероятность  $P_3$ ;  
 где:  $H_i$  – гипотеза вероятного исхода;  $C_1$  – стоимость изделия после предыдущей операции;  $O$  – технологическая операция (ТО);  $\Delta C_1^o$  – кальку-

ляционная стоимость ТО;  $\kappa$  – операция контроля;  $\Delta C_1^{\kappa}$  – калькуляционная стоимость контрольной ТО;  $\Delta C_1^d$  – калькуляционная стоимость доработки.

Вероятности гипотез и соответствующие стоимости изделия представлены в табл. 1.

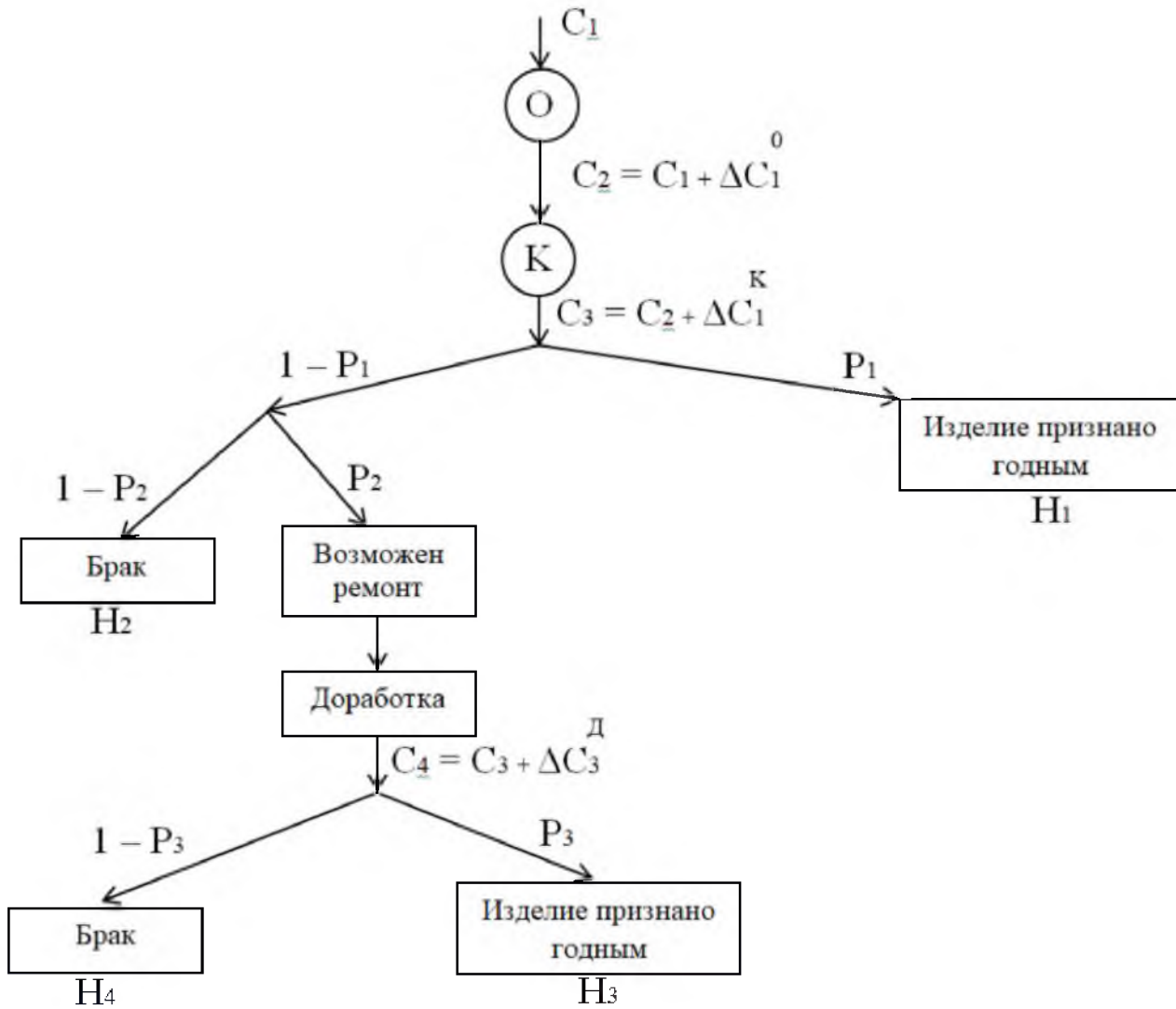


Рис.1. Схема возможных исходов технологической операции

Таблица 1. Вероятности гипотез и соответствующие стоимости изделия

$H_i$	$P_i$	$C_i$
$H_1$	$P_1$	$C_1$
$H_2$	$(1 - P_1)(1 - P_2)$	$C_2$
$H_3$	$(1 - P_1)P_2P_3$	$C_4$
$H_4$	$(1 - P_1)P_2(1 - P_3)$	$C_4$

Вероятность получения брака имеет вид:

$$P_{бр} = P(H_2) + P(H_4) = (1 - P_1)(1 - P_2P_3). \quad (3)$$

Вероятность получения годного изделия имеет вид:

$$P_{годн} = P(H_2) + (1 - P_1)P_2P_3. \quad (4)$$

Использование этих соотношений позволяет оценить средние значения и дисперсии как стоимости операции, так и потерь от брака. Выстраивая таким образом соотношения для всего ТП, можно получить характеристики затрат для ТП в целом.

Очевидно, что использование этих моделей позволяет значительно уточнить модели и связать затраты с надежностью ТП по параметрам качества изделия. При этом повышение вероятности выхода годных изделий возможно двумя способами: во-первых, увеличением числа одновременно или последовательно обрабатываемых изделий, количество которых определяется надёжностью ТП и превышает требуемое число годных; во-вторых, увеличением надёжности ТП по параметрам качества (соответственно, увеличением  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ). И первый, и второй способ требуют дополнительных затрат. В этом случае возможна оптимизационная задача, результатом которой является определение оптимальной надёжности ТП.

Для определения вероятностей  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  целесообразно использовать регрессионные модели технологической наследственности (ТН), связывающие выходные параметры изделий после ТО или ТП в целом с параметрами изделий после предыдущей ТО и производственно-технологическими факторами [9].

В зависимости от разброса выходных параметров изделия (в частности, от дисперсии) характер изменения  $C_{изг}$  и  $C_{бр}$  представлен на рис. 2 (при этом допуск на параметр считается заданным).

Характер затрат на обработку ТП ( $C_{отр}$ ) аналогичен  $C_{изг}$ , что позволяет установить зависимость  $C_{отр} = f(C_{изг})$ , используя статистику предприятия, на котором предполагается изготовление изделия. Таким образом, при заданном допуске на параметры изделия суммарные затраты имеют оптимальное значение (рис. 3).

Расширение допуска приводит к смещению кривой потерь от брака вниз. Становится возмож-

ным построение оптимальных суммарных затрат в зависимости от допуска  $C_{отр}(\Delta)$  (рис. 4).

При отсутствии дополнительных ограничений на время и невозможности корректирования  $\Delta$  задача завершается выбором ТП, обеспечивающего выполнение заданного допуска с минимальными затратами. При оценке времени необходимо учитывать время на обработку и изготовление. При этом состав и содержание моделей времени оказываются аналогичными стоимостным моделям. Необходимо только учитывать дополнительные затраты времени, связанные с надёжностью ТП по параметрам производительности.

Для каждого ТП можно получить зависимость  $t(\sigma)$  и, зная ограничение на  $t$ , определить граничное значение на  $\sigma$ . Для зависимостей, показанных на рис. 3, это ограничение слева, поскольку уменьшение  $\sigma$  приводит к увеличению  $t$ .

Переход от жёстких ограничений в рамках этого этапа на допуски выходных параметров изделия, определяющих его надёжность, и замена их более общим ограничением на надёжность позволяют скорректировать эти допуски.

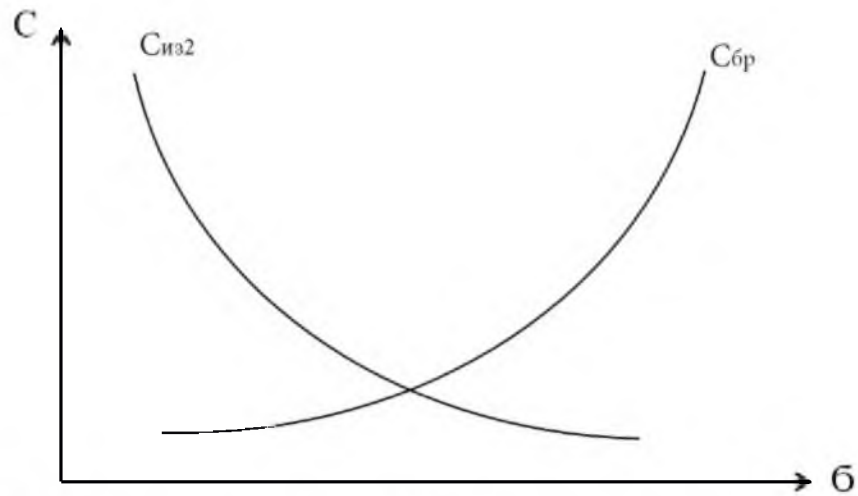
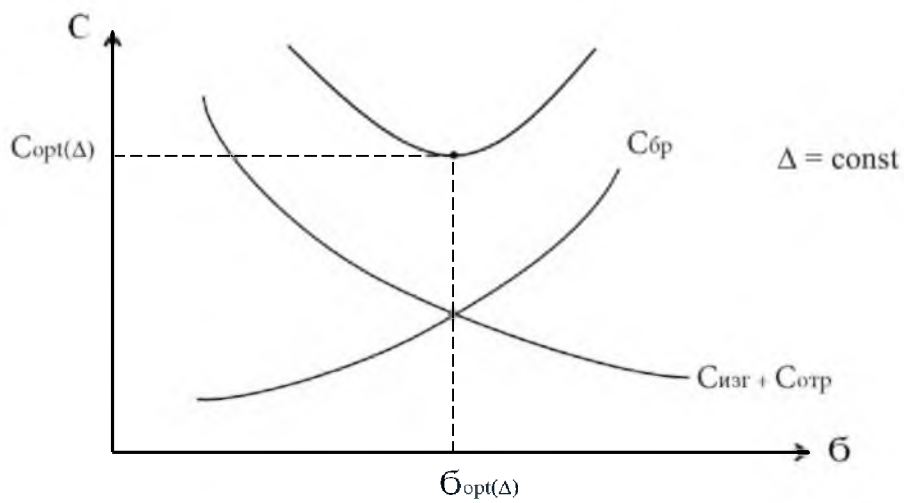
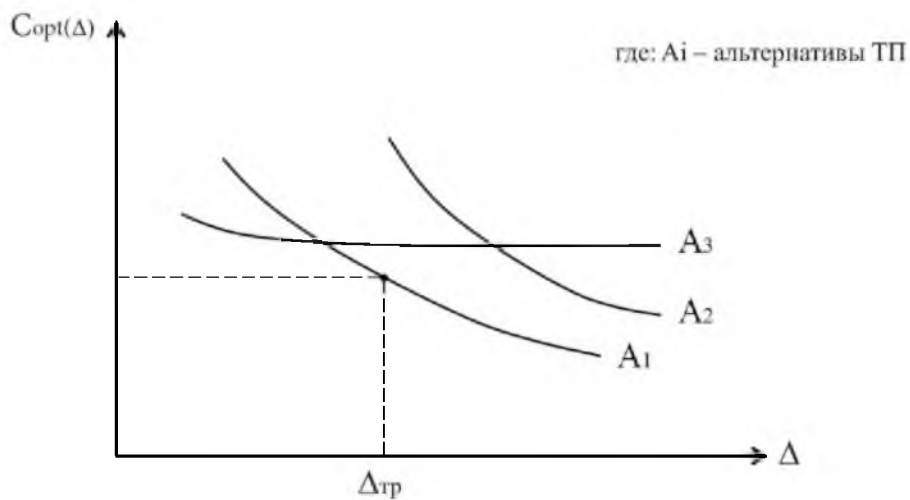
Использование моделей ТН делает возможным получение граничного значения для каждого значения допуска. Для зависимостей, показанных на рис. 3, это ограничение справа, так как увеличение приводит к уменьшению надёжности. Увеличение допуска приводит к уменьшению допустимого значения.

На рис. 5 показаны ограничения на  $t$  и характер изменения  $C_{бр}$  и ограничения на  $\sigma$  в зависимости от изменения допуска.

При отсутствии дополнительных ограничений на время и невозможности корректирования  $\Delta$  задача заканчивается выбором ТП, обеспечивающего выполнение заданного допуска с минимальными затратами. Характер  $C_{отр}(\Delta)$  при наличии ограничений показан на рис. 6.

Таким образом, оказывается возможным не только выбрать рациональную альтернативу ТП, но и определить рациональные значения ограничений на допуски выходных параметров. Кроме того, состав предложенных моделей стоимости, времени и ТН позволяет одновременно определять оптимальные значения надёжности ТП по параметрам качества и производительности.



Рис.2. Зависимость  $C_{изз}$  и  $C_{бр}$  от разброса выходных параметров изделияРис. 3. Зависимость  $C_{отр}$  от допуска на параметры изделия  $\Delta$ Рис. 4. Зависимость суммарных затрат от допуска  $C_{опт}(\Delta)$

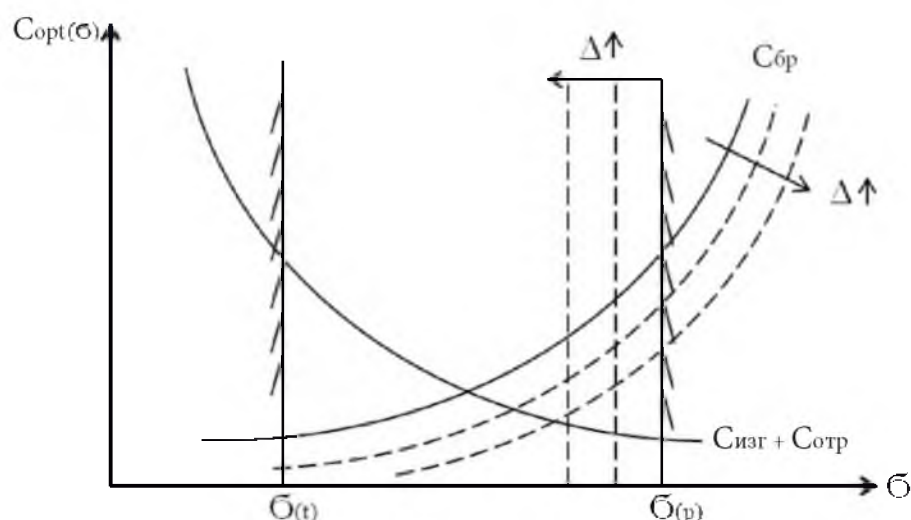


Рис. 5. Изменения  $C_{бр}$  и ограничения на  $\sigma$  в зависимости от изменения допуска и ограничений на  $t$

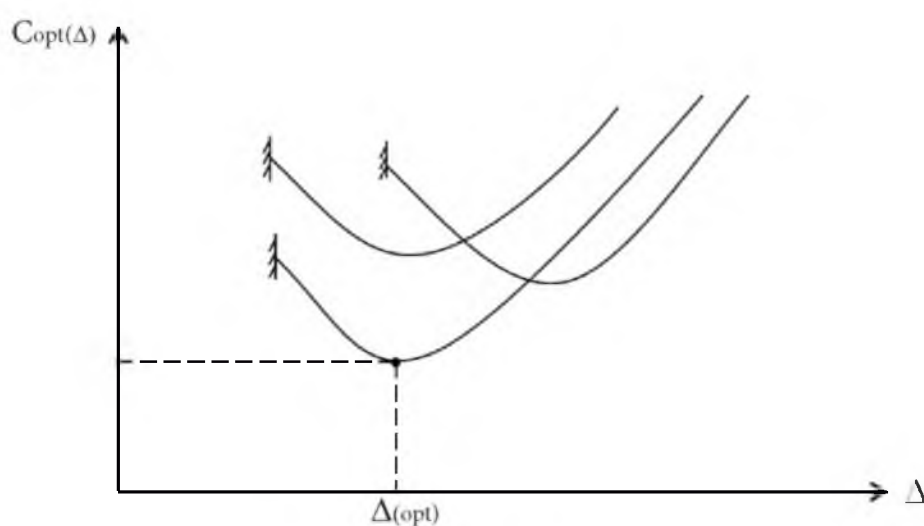


Рис. 6. Зависимость  $C_{opt}(\Delta)$  при наличии ограничений

Использование моделей ТН позволяет уже на ранних стадиях разработки производить корректную и достаточно точную оценку надёжности изделий и, при более широкой постановке задачи, осуществить выход на рациональное распределение коэффициентов запаса для элементов конструкции. При этом возможно введение дополнительного ограничения на массу изделия (или на массовый

резерв), которое, в свою очередь, также может внести существенные коррективы в процесс выбора рационального варианта технологии.

Также необходимо отметить, что трудоёмкость решения изложенной задачи будет постоянно снижаться по мере накопления информации и создания базы данных по моделям стоимости, времени и ТН для различных ТО.





### Выводы

1. Задача выбора технологии создания изделий, проблемно ориентированная на повышение эффективности процессов создания и производства изделий РКТ, рассматривается в формальном и практическом аспекте как слабоструктурированная и многокритериальная.

2. С позиций системного подхода проблему выбора технологии создания изделий целесообразно рассматривать с ранних стадий разработки.

3. Концептуальная схема процесса выбора технологии создания изделий рассматривается как двухуровневая система, состоящая из этапов формирования области рациональных вариантов на основе многокритериальной оценки альтернатив с привлечением дополнительных критериев, характеризующих организационно-технические характеристики предлагаемой производственной базы, и выбора оптимального варианта из этой области по стоимостному критерию.

4. В качестве методологической основы разработки аппарата выбора технологических процессов в условиях неполноты информации на ранних стадиях разработки изделий РКТ целесообразно использовать модели стоимости, времени и технологической наследственности, а также методы многокритериального сравнения альтернатив на ранних стадиях проектирования.

5. Ранее разработанный задел предприятий ракетно-космической промышленности и АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в виде моделей стоимости, времени и технологической наследственности представляет собой достаточное научно-методическое обеспечение создания и дальнейшего развития объектно-ориентированных базы знаний и базы данных технологических платформ разработки изделий РКТ в составе информационно-аналитической системы управления технологическим развитием отрасли.

### Библиографический список

1. Соломонов Ю.С., Шахтарин Ф.К. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность. – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.: ил.
2. Исаченко В.А., Полтавец Г.А. Системный подход к проблеме формирования и применения КТР / Труды XIX чтений, посвящённых разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – М.: ИИЕТ АН СССР. – 1985. – С. 24–28.
3. Новые наукоёмкие технологии в технике: Энциклопедия. Т.10. Системный подход к сложным техническим объектам/ К.С.Касаев, Г.А.Полтавец, В.В.Булавкин и др. Под ред. К.С. Касаева – М.: АО НИИ Энцитех, 1997. – 454 с.
4. Матвеев Ю.А. Методы прогнозирования характеристик летательных аппаратов. – М.: МАИ, 2004. – 79 с.: ил.
5. 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.
6. Денисов А.В. Подход к построению маршрутного технологического процесса на основе выбора технологического метода изготовления. Тезисы докладов отраслевой конференции Ускорение научно-технического прогресса в машиностроении. М.: – ЦНТИ Поиск. – 1988.
7. Стрелец А.А., Фиосов В.А. Размерные расчеты в задачах оптимизации конструкторско-технологических решений. – М.: Машиностроение, 1988. – 120 с.: ил.
8. Матвеев Ю.А., Щеверов Д.Н. Экономическая оценка реализации проектов ракетно- космической техники: Учебное пособие. – М.: МАИ, 2005. – 96 с.: ил.
9. 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.

**Захаров Василий Антонович** – руководитель проекта АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-31-73 доб. 26-11.

E-mail: V.Zaharov@tmnpo.ru

Zakharov Vasilii Antonovich – project manager of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7(495) 689-31-73 ext. 26-11.

E-mail: V.Zaharov@tmnpo.ru

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

Тел. +7(495) 689-95-26 доб.97-01.

E-mail: k.panteleev@tmnpo.ru

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

Tel.: +7(495) 689-95-26 ext. 97-01.

E-mail: k.panteleev@tmnpo.ru

**Приходько Николай Васильевич** – начальник управления АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-95-00 доб. 97-98.

E-mail: N.Prihodko@tmnpo.ru

Prihodko Nikolay Vasilyevich – office head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7(495) 689-95-00 ext. 97-98.

E-mail: N.Prihodko@tmnpo.ru

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

Тел. +7(495) 689-31-73 доб. 24-58.

E-mail: I.Chernoded@tmnpo.ru

Chernoded Igor Ivanovich – project manager of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7(495) 689-31-73 доб. 24-58.

E-mail: I.Chernoded@tmnpo.ru

**Суворов Ян Константинович** – инженер-технолог 3-й категории АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-95-81 доб. 23-13

E-mail: Y.Suvorov@tmnpo.ru

Suvorov Ian Konstantinovich – 3rd category process engineer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Tel.: +7(495) 689-95-81 ext. 23-13

E-mail: Y.Suvorov@tmnpo.ru



УДК 621.735.016.2

*Захаров В.А., Пантелеев К.Д., Приходько Н.В., Чернодод И.И., Суворов Я.К., Цырков А.В.  
Zakharov V.A., Panteleev K.D., Prikhodko N.V., Chernoded I.I., Suvorov Ia.K., Tsyirkov A.V.*

## Теоретические и практические аспекты формирования базы знаний структурно-параметрического синтеза технологий (часть 1)

### Theoretical and practical aspects in forming a knowledge base of structural-parametric synthesis of technologies (Part 1)

Рассмотрены структура и особенности концептуальной схемы и модели процесса управления эффективностью технологической системы ракетно-космической промышленности. Показана проблематика классификации задач, методы и инструментарий структурно-параметрического синтеза технологий. Показана структура отраслевой базы знаний синтеза технологических процессов.

The structure and features of the conceptual framework and model of the performance management process for the aerospace industry process system are considered. Problematics of task classification, methods and tools of structural-parametric synthesis of technologies are shown. The industry knowledge base structure of process synthesis is shown.

**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

С учетом неполноты или полного отсутствия информации о технологических методах, процессах, средствах технологического оснащения, имеющих место на ранних стадиях жизненных циклов изделий ракетно-космической техники (ЖЦИ РКТ), проблемы технологического обеспечения их проектирования относятся к разряду слабоструктурированных.

Решение указанных проблем с позиций системного подхода требует разработки научно обоснованного системного описания системы задач, комплексно охватывающего все аспекты структурно-параметрического синтеза технологической системы (ТС) с учетом требований полно-

ты состава, обоснованной глубины детализации, объективной информационной взаимосвязанности и иерархической упорядоченности, а также реализации его в базе знаний.

В связи с этим целесообразно разработать соответствующее методическое и инструментальное обеспечение информационно-аналитического моделирования системы знаний управления технологиями производства изделий РКТ, определяющего место, взаимосвязи и порядок выполнения задач структурно-параметрического синтеза в системе технологического обеспечения создания и производства изделий РКТ на основе средств цифровизации.

#### Классификация задач технологического проектирования

Следуя общепринятому определению, что система – это множество элементов, находящихся в отношениях или связанных друг с другом, реализующих целостность или органическое един-

ство [1], то есть система представляется парой:

$$S = (A, R), \quad (1)$$

где  $A$  – множество элементов,  $R$  – множество отношений.

Чтобы сделать это определение практически полезным для рассмотрения технологических процессов, введем определенные классы упорядоченных пар  $(A, R)$ , относящихся к задачам проектирования технологии. Согласно определению эти классы можно ввести с помощью одного из двух критериев:

1. Выделение систем, базирующихся на определенных типах элементов.

2. Выделение систем, базирующихся на определенных типах отношений.

Классификация по критерию 1 даёт традиционное разделение технологий по видам технологий. Критерий 2 даёт иную классификацию, при которой не фиксируется тип элементов. Такая классификация связана с обработкой данных об элементах системы. Результатом классификации по критерию 2 являются классы, описывающие различные эпистемологические уровни, то есть уровни знания относительно рассматриваемых явлений [2]. Классификации задач технологического проектирования по критериям 1 и 2 показаны в табл. 1.

**Таблица 1. Классификация задач технологического проектирования**

Технологические методы					Эпистемологические уровни
сборка			испытания		
сборка		пайка	прочность	герметичность	
Сборка-сварка оболочковых конструкций КА и СВ		Пайка крыльчаток ТНА ЖРДУ	Гидроиспытания оболочковых конструкций КА и СВ на прочность	Испытания оболочковых конструкций КА и СВ на герметичность	Технологические системы
Аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом баков КА и СВ		Пайка крыльчаток ТНА ЖРДУ готовым припоем системы Al-Si-Ge с температурой пайки на 30–40°C в нейтральной газовой среде	...	Испытания баков СВ масс-спектрометрическим методом	Структурированные системы. Рациональные или оптимальные директивные технологические процессы (ТП). Уровень 4
Оболочки: цилиндрические; сферические; чечевицеобразные. Кольцевые швы. АИНп. Сборка-сварка кольцевых швов			...	Оболочки: цилиндрические; сферические. Масс-спектрометрический метод с использованием гелиево-воздушной или гелиево-азотной смеси	Порождающие системы Знания о некоторых структурных характеристиках. Базы знаний синтеза структур директивных технологических процессов (ТП). Уровень 3





Продолжение табл. 1.

Сварка меридиональных швов. Сварка продольных стыковых швов. Сварка кольцевых стыковых швов. Приварка элементов арматуры и силового набора	...	...	...	Системы данных. Базы данных о структурных составляющих директивных технологических процессов (ТП), Уровень 2
Установка ДСЕ под сварку. Торцовка. Подготовка стыка. Прихватка. Сварка: демонтаж оснастки. Сборка листов под сварку. Сварка: расфиксация обшивки	...	...	Выявления мест локальной негерметичности щупом течеискателя; оценка суммарной негерметичности в вакуумной камере; контроль давления рабочих сред испытательных стендов датчиками давления с аналоговым выходом	Исходная система Модель представления системы технологических процессов (ТП) (концептуальная модель). Язык описания системы или множество переменных. Уровень 1

Первым эпистемологическим уровнем в данной системе классификации является исходная система. Эта система определяется через множество переменных, множество потенциальных состояний каждой переменной и некий способ описания смысла этих состояний в терминах проявления соответствующих атрибутов данного объекта (концептуальная модель) [2].

В качестве переменных можно представить «словарь» системы  $V$ , в котором задаются основные технологические понятия с их областью определения. В качестве концептуальной модели прием многоуровневую иерархическую систему  $S_k$ :

$$S_k = (V, R_v), \quad (2)$$

где:  $V$  – множество технологических понятий (словарь),  $R_v$  – иерархические отношения понятий.

Иерархическое представление концептуальной модели исходной технологической системы обусловлено иерархическим построением кон-

струкций изделий –  $V = \{\text{Получение заготовки, штамповка, термообработка, закалка}\}$

Отношения понятий представлены на рис. 1.

Вторым эпистемологическим уровнем являются системы данных, представляющие информационно-справочную информацию о выделенных в концептуальной модели технологических понятиях.

Третий эпистемологический уровень непосредственно связан с процедурами синтеза технологических процессов (ТП). На этом уровне содержатся знания о некоторых характеристиках отношений рассматриваемых технологических понятий, включённых в словарь  $V$  исходной системы  $S_k$ .

Введём в рассмотрение некоторое отображение  $W$ :

$$W V_i \rightarrow V_j, \dots, V_m, \quad (3)$$

где  $i, j, m = 0, \dots, n$ ,  $i, j, m = 0, \dots, n$ ,  $n$  – число элементов множества  $V$ .



Рис. 1. Отношения технологических понятий

Это отображение ставит в соответствие каждому элементу словаря  $V$  некоторое упорядоченное (может быть и пустое) множество элементов этого же словаря.

Упорядоченное множество элементов словаря  $V_1, \dots, V_m$  назовём технологической цепочкой, определённой на технологическом понятии  $V_p$ , а отношение  $W$  – отношением порождения. Для примера, показанного на рис. 1, технологическими цепочками являются  $\{\text{штамповка, термообработка}\}$ ,  $\{\text{закалка}\}$ ,  $\{\dots\}$ . Очевидно, что в этом случае отображение  $W_i$  включает в себя отношения иерархической соподчинённости технологических понятий  $R_{v_i}$ , где номер иерархического уровня содержит информацию о линейном порядке элементов в технологических цепочках.

Назовём порождающей системой системы

$$S_{syn} = (V, W) \quad (4)$$

где  $V$  – множество технологических понятий (словарь);  $W$  – множество отношений порождения.

Таким образом, отношения  $W_i$  и словарь  $V$  представляют собой базу знаний структурного синтеза технологического процесса (ТП).

Четвертый эпистемологический уровень содержит дополнительную информацию с критериями выбора того или иного (иных) технологических процессов (ТП). На этом уровне используется информация о предварительно синтезированных на третьем уровне технологических процессах.

### Методы синтеза структур технологических процессов

Для синтеза структуры исходной системы  $S_k$  можно применять различные методы. Наиболее

распространёнными методами синтеза структур являются морфологические модели и деревья целей.

### Морфологические модели

Термин «морфология» употребляется во многих науках и относится к исследованию форм или структуры изучаемого объекта.

Морфологический анализ охватывает методы выявления, обозначения, подсчёта и классификации всех возможных устройств и методов, предназначенных для выполнения каких-либо специфических функций. Такой метод может быть использован для выявления и подсчёта всех возможных средств достижения заданной цели при любом уровне абстракции или общности [3, 4].

Суть метода состоит в разбиении проблемы на части, которые в какой-то степени можно считать независимыми, причем каждая из частей имеет несколько решений. Затем определяют техническую эффективность, необходимую для каждого решения, которая и используется в качестве цели для рассматриваемой области (в данном случае целью является обеспечение некоторого критерия (критериев) качества технологического ТП, определяемого разработчиком технологии). От некоторых решений можно отказаться сразу,



исходя из их осуществимости, от других – вследствие их несоответствия отдельным решениям. В результате останется множество целей для рас-

сматриваемой технологии, причем если цели достигаются, то исходная (общая) цель заведомо имеет хотя бы одно решение [5,6].

### Деревья целей

Деревья целей используются для синтеза и анализа систем или процессов, в которых можно выделить несколько структурных или иерархических уровней. Они строятся путем послед-

овательного выделения все более «мелких» компонентов на постепенно понижающихся уровнях [5, 6]. Схематически построение дерева представлено на рис 2.

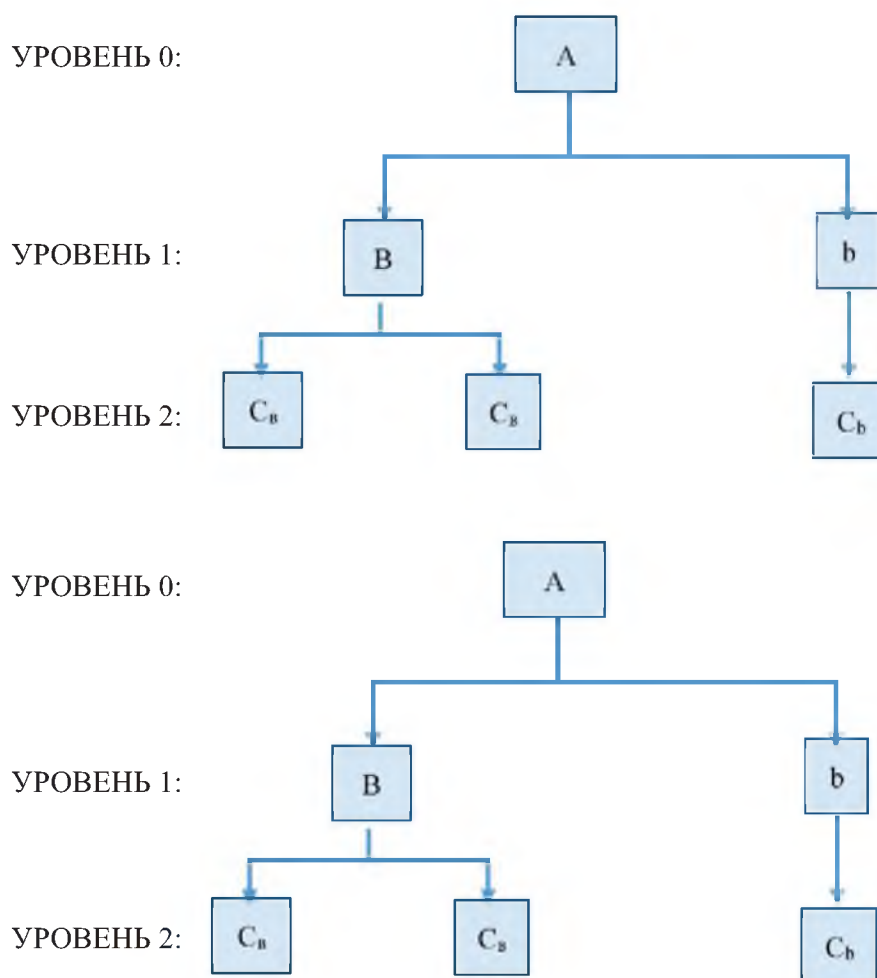


Рис. 2. Схема построения дерева целей

Свойства деревьев целей [5, 6]:

- ветви, исходящие из одной вершины, должны быть взаимоисключающими, то есть не должно быть даже частичного совпадения объектов, представленных различными ветвями, исходящими из одной вершины;

- дерево целей следует считать совокупностью целей и подцелей. Каждая вершина представляет собой цель для исходящих из нее ветвей.

Процесс синтеза на деревьях целей отражается отношением «цель-средство» [1], когда, исходя из поставленной цели (проектирование определенного ТП), ищутся необходимые для этого средства. При этом процесс проектирования можно описать в общем виде последовательностью шагов применения отношения «цель-средство».

При всем различии подходов синтеза структуры систем методами морфологического анализа и построения деревьев целей между этими

подходами имеется существенная взаимосвязь. Хотя дерево целей дает иерархическую структуру, а морфологическая модель – параллельную, любая из них может быть преобразована в противоположную: иерархическая в параллельную и наоборот. Если одна и та же система моделируется с помощью дерева целей и морфологического метода, то элементы морфологической модели будут соответствовать основным соединенным разделам дерева, а ветви на нижних уровнях каждого такого раздела дерева целей будут компонентами соответствующих разделов морфологической модели. Итак, вообще структуру любой системы можно смоделировать либо с помощью морфологических методов, либо с помощью деревьев целей. Однако для некоторых систем один тип моделей явно предпочтительнее другого.

Выбранная концептуальная модель исходной системы  $S_x = (V, R_x)$  является иерархической многоуровневой системой, где соотношение иерархической соподчинённости  $R_x$  ставит в соответствие каждому элементу из множества  $V$ :

1. Конкретную технологическую цепочку в случае проектирования одного варианта ТП.
2. Несколько технологических цепочек в случае проектирования нескольких альтернативных вариантов ТП.

В первом случае процесс синтеза можно проводить методом построения дерева целей, в котором отношение «цель – средство» является отношением  $R_x$ . При этом считается заданным

и отношение  $W$ , задающее кроме отношения  $R_x$  отношение линейного порядка в технологических цепочках.

Во втором случае одного построения дерева целей недостаточно, поскольку учёт альтернативных решений требует дополнительных «ИЛИ» ветвей в дереве. Пример дерева целей с «ИЛИ» ветвью представлен на рис. 3.

В этом случае предлагается проводить синтез, используя и морфологическую модель, и метод деревьев целей. Как видно из рис. 3, «ИЛИ» дерево эквивалентно двум деревьям («лесу» деревьев). Схема «леса» деревьев представлена на рис. 4.

Синтез можно одновременно проводить в двух направлениях: в «глубину» по иерархическим уровням и «в ширину» по альтернативным технологическим цепочкам (то есть строится не одно «ИЛИ» дерево, а лес деревьев; число альтернативных деревьев в лесе соответствует числу ТП).

Ниже (рис. 5) схематически представлен алгоритм синтеза «в глубину» и «в ширину». При синтезе «в глубину» порождение данных происходит по иерархической модели (дерево целей), а при синтезе «в ширину» – по морфологической.

Отметим, что в данном алгоритме процесс синтеза «в глубину» является нисходящим [7, 8], то есть синтез происходит с самого верхнего иерархического уровня дерева целей.

Далее необходимо выбрать аппарат представления данных, обеспечивающий программное осуществление предложенного алгоритма.

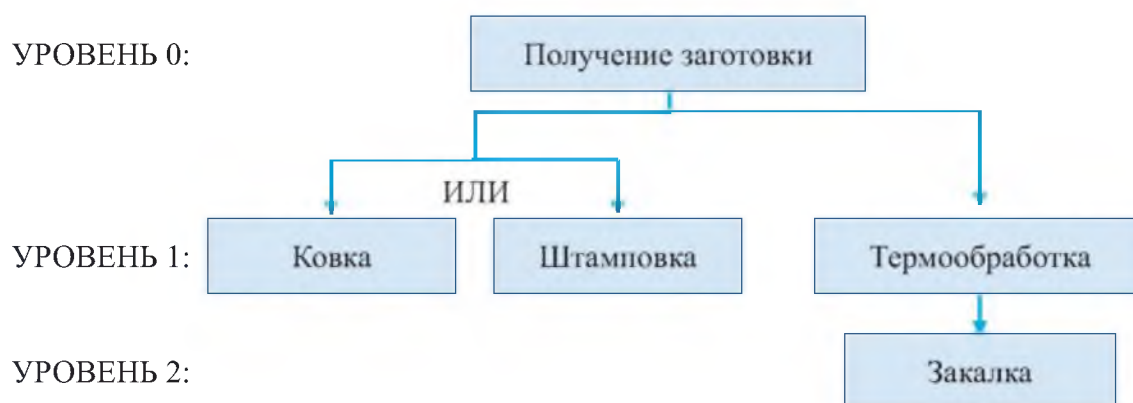


Рис. 3. Дерево целей с «ИЛИ» ветвью





Рис. 4. Схема «леса» деревьев

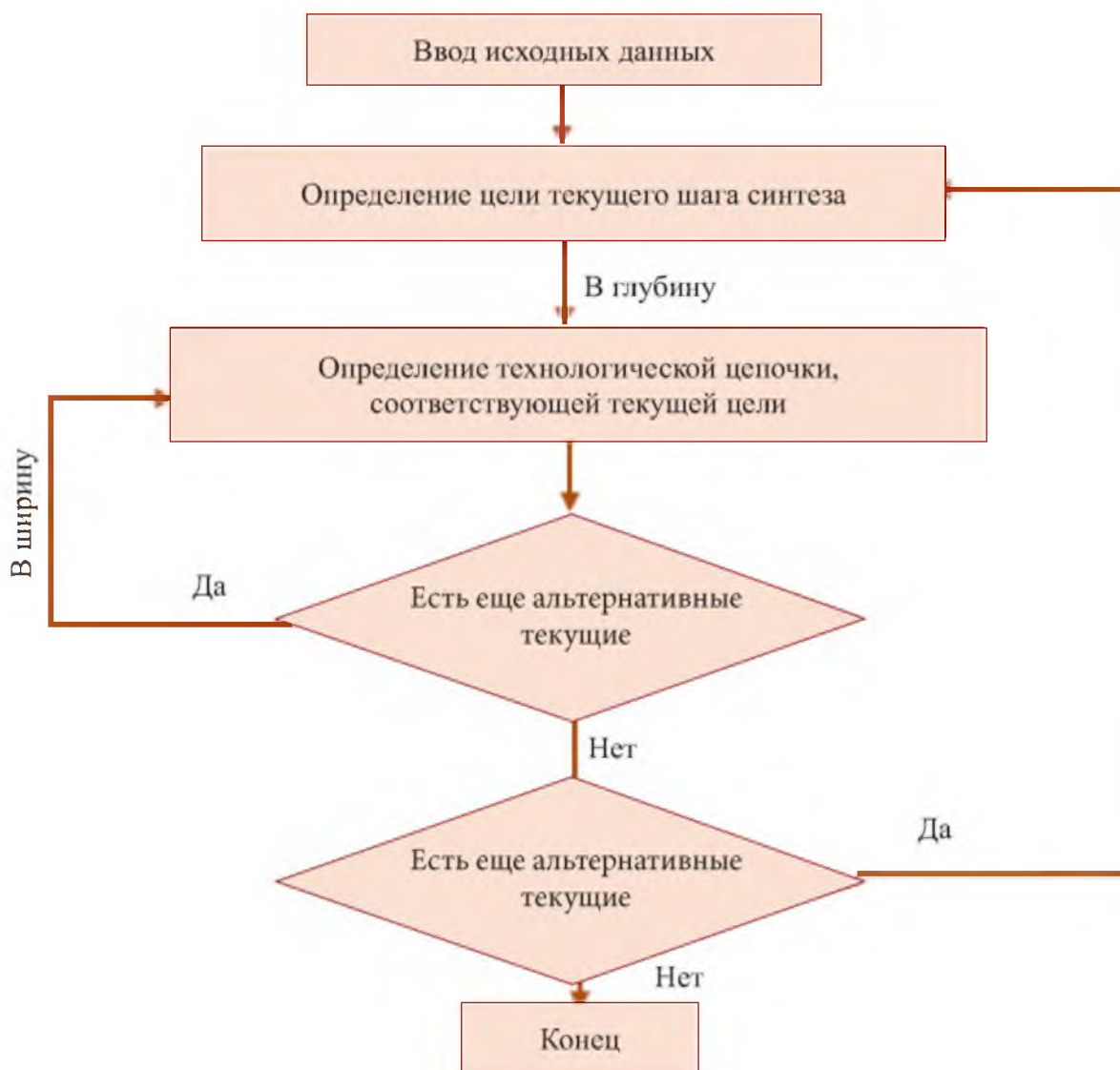


Рис. 5. Алгоритм синтеза «в глубину» и «в ширину»

### Методы математической лингвистики как модель синтеза структур технологических процессов

Как показано выше, процесс синтеза складывается из двух этапов. Процесс синтеза «в ширину», построенный на морфологической модели, не требует специальной организации данных, так как может быть организован с использованием таблиц.

Наибольший интерес представляет организация данных для синтеза «в глубину», требующего организации рекурсивных данных для осуществления функционирования рекурсивного алгоритма (рис. 5).

Для того, чтобы использовать порождающую систему  $S_{\text{ген}} = (V, W)$  необходимо подобрать такой способ представления данных, который позволил бы задавать отношения  $W$ , включающие в себя знания о иерархических отношениях связи технологических понятий с соответствующими им технологическими цепочками и линейном порядке технологических понятий внутри технологических цепочек.

Обратим внимание на выбранное иерархическое представление технологических типов:

- уровень 0: технологический процесс;
- уровень 1: технологическая цепочка;
- уровень 2: технологическая операция;
- уровень 3: технологический переход.

В этой иерархии понятий можно проследить определенную аналогию со структурой естественных языков:

- уровень 0: предложение;
- уровень 1: фраза (цепочка слов, объединенных единым смыслом);
- уровень 2: слово;
- уровень 3: буква.

Естественные языки обладают иерархической структурой, которая представляется в виде дерева. Н. Хомский [5, 6] разработал теорию формальных языков для моделирования объектов подобных естественным языкам. Математическая лингвистика нашла широкое применение в вычислительной технике и программировании, на основе которой построены практически все современные языки программирования [7].

По Н. Хомскому [5] языком называется множество (конечное или бесконечное) предложений, каждое из которых имеет конечную длину

и построено с помощью операций конкатенации (дописывания символа за символ или за цепочку символов) из конечного множества элементов.

Чтобы точно определить язык, необходимо установить общие принципы, которые определяют последовательности атомарных элементов, являющихся предложениями, от последовательности таковыми не являющимися. Эти различия нельзя выразить просто списком предложений, так как в представляющих интерес системах не накладывается ограничений на длину предложений. В таком случае определить язык можно двумя способами:

- разработать операционную процедуру, которая будет отличать предложения от непредложений;
- построить рекурсивные правила, которые будут перечислять правила предложения бесконечного списка. Такие правила называют грамматикой языка.

Всякое правило имеет вид:  $f_1 \dots f_n \rightarrow f_{n+1}$ , где  $f$  – некая структура, а отношение  $\rightarrow$  выражает тот факт, что если правило рекурсивного порождения порождает структуры  $f_1 \dots f_n$ , то оно порождает и структуру  $f_{n+1}$ .

Основные свойства грамматик:

- грамматика должна быть по определению конечной;
- грамматика должна приписывать каждому порождаемому предложению его структурное описание, которое определяло бы из каких элементов построено предложение, каков их порядок, расположение и т.д.

Порождающей грамматикой называют упорядоченную систему

$$G = (V_p, V_n, P, S), \quad (5)$$

где  $V_p$  – конечное непустое множество символов (терминальный словарь);  $V_n$  – конечное непустое множество символов (нетерминальный словарь) или словарь синтаксических типов;  $S$  – начальный символ. Это выделенный нетерминальный символ, обозначающий класс всех тех языковых объектов, для описания которых предназначена данная грамматика;  $P$  – правила





Рис. 7. Схема предложения «Контекстно-свободные грамматики являются способом представления знаний»

ставит в соответствие непустую или несколько пустых терминологических цепочек;

$P$ : правила грамматики задают соотношения  $W$ ;

$S$ : начальный символ представляет из себя цель верхнего уровня дерева целей, которые в принятых в математической лингвистике определениях называется синтаксическим деревом.

В качестве примера на рис. 8 показан небольшой фрагмент некоторой технологической цепочки получения заготовки:

Здесь

$V_1$ : {штамповка, закалка};

$V_n$ : {термообработка};

$P$ : получение заготовки  $\rightarrow$  штамповка термообработка;

термообработка  $\rightarrow$  закалка;

$S$ : получение заготовки.

Таким образом, проблему синтеза различных вариантов ТП можно решать, используя приведенную выше аналогию с естественными языками, моделируя порождающую систему  $S_{397}$  порождающей грамматикой  $G$ .

Тогда задача синтеза ТП формулируется следующим образом: построить все возможные

предложения на языке, который задаётся конечной грамматикой  $G$ , в которой словами являются технологические цепочки, состоящие из букв различных технологических понятий.

Теперь необходимо решить, какой тип грамматик наиболее удобен для решения поставленной задачи. В синтаксическом дереве ТП (рис. 8) отдельные последовательности терминальных и нетерминальных символов функционируют в качестве элементов нетерминальных символов более высоких иерархических уровней. Такие последовательности называются составляющими.

В приведенной классификации такие грамматики называются грамматиками непосредственно составляющих (НС). Если не накладывать ограничений на область действия каждого правила грамматики НС, то практически все правила, используемые для описания структур ТП можно представить в виде  $A \rightarrow W$ , то есть, используя грамматику типа 2 по классификации Н. Хомского [5, 6, 7, 8]. Этот тип грамматик называется контекстно-свободной (КС) грамматикой.

Однако в некоторых случаях КС-грамматик явно недостаточно из-за необходимости учета



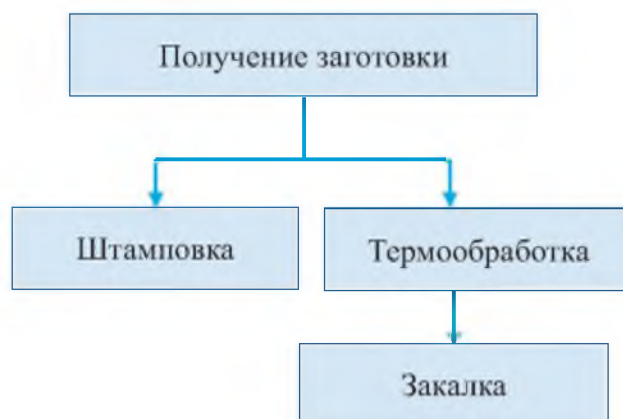


Рис. 8. Фрагмент технологической цепочки получения заготовки

области действия описания. Например, для алюминиевого сплава 1201 существует правило <Т.О.> → закалка, при условии, что термообработка применяется в заготовительном производстве и, в то же время, существует правило <Т.О.> → <ИСКУССТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ >, если термообработка применяется при изготовлении панели [9,10].

То есть в этом случае возникает неопределенность в выборе правила, появляется дополнительный контекст – если состояние изделия – заготовка, то <Т.О.> → закалка; если же состояние изделия – деталь, то <Т.О.> → <ИСКУССТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ >.

Для подобных случаев Д. Кнут [7] предложил подход, состоящий в том, что любому символу КС-грамматики (терминальному и нетерминальному) может быть сопоставлено некоторое коли-

чество атрибутов (параметров). Каждый атрибут при этом принимает значение из своей области определения. Значение атрибутов используется для проверки контекстных условий. Для этого можно ввести систему функций, которым должны удовлетворять значения атрибутов символов в синтаксическом дереве, соответствующем предложению, принадлежащему языку. Тогда если предложение, порожденное такой грамматикой, имеет значение атрибутивной функции «ложь» хотя бы в одном узле синтаксического дерева, то предложение считается не принадлежащим языку. Грамматики такого типа получили название «атрибутивных». Выбором соответствующих значений атрибутов и функций могут быть формализованы практически любые контекстные условия.

### Библиографический список

1. Хубка В. Теория технических систем / перевод с нем. В.В. Ачкасова и др.; под ред. К.А. Люшинского. – М.: Мир, 1987. – 208 с.: ил.
2. Клир Д. Системология. – М.: МИР, 1989. – 350 с., ил.
3. Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование / перевод с англ. Н.П. Степанова / под ред. [и с предисл.] Г.М. Доброва. – М.: Мир, 1971. – 296 с.
4. Мартино Дж.. Технологическое прогнозирование [Текст]: пер. с англ. / Дж. Мартино; Общ. ред. и послесл. д-ра экон. наук. В.И. Максименко. – М.: Прогресс, 1977. – 591 с.
5. Введение в формальный анализ естественных языков / Н. Хомский, Дж. Миллер / пер. с англ. Е.В. Падучевой. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 62 с.: ил.
6. Хомский Н. Формальные свойства грамматики. /В кн.: Кибернетический сборник. Новая серия. Вып. – М.: Мир, 1966. – С.121–230.
7. Семантика языков программирования: Сб. статей / Перевод с англ. А.Н. Бирюкова, В.А. Серебрякова / Под ред. В. М. Курочкина. – М.: Мир, 1980. – 395 с.
8. Лингвистические модели: [Учеб. пособие] / Г.М. Сергиевский. – М.: МИФИ, 1983. – 62 с.: ил.



9. Денисов А.В. Подход к построению маршрутного технологического процесса на основе выбора технологического метода изготовления. Тезисы доклада. XIV научно-технической конференции Ускорение научно-технического прогресса в машиностроении. – ЦНТИ Поиск, индекс 9346. – 27–30 июня 1988 г. – С. 52–55.

10. Фролов А.Б., Лукошников С.В., Денисов А.В. Учёт технологических факторов на ранних стадиях создания изделий. Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. – М.: Наука, 1991. – С. 120–122.

11. Пантелеев К.Д., Цырков А.В., Чернодед И.И. Облик, архитектура и этапы создания электронной базы знаний по производственным технологиям предприятий ракетно-космической промышленности // Вестник НПО Техномаш. – 2021. – № 4. – С. 38–44.

12. Лопота А.В., Цырков А.В., Цырков Г.А. Реализация системы проектно-операционного управления предприятием. Организационно-методические решения // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. ФГУП ВИМИ. – 2016. – № 3. – С. 9–17.

13. Цырков А.В. Структурно-параметрический моделлер – основа построения комплексных информационных моделей производственных систем // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. ФГУП ВИМИ. – 2005. – № 1. – С. 51–58.

14. Лопота А.В., Цырков А.В. Построение системы проектно-операционного управления научно-производственным машиностроительным комплексом // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России: Науч.-техн. журн. – 2016. – № 2. – С. 52–60.

**Захаров Василий Антонович** – руководитель проекта АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-31-73, доб. 26-11.

E-mail: V.Zaharov@tmnpo.ru

Zakharov Vasilii Antonovich – project manager of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel. +7(495) 689-31-73, доб. 26-11.

E-mail: V.Zaharov@tmnpo.ru

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

Тел. +7(495) 689-95-26, доб.97-01.

E-mail: k.panteleev@tmnpo.ru

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

Tel. +7(495) 689-95-26, доб.97-01.

E-mail: k.panteleev@tmnpo.ru

**Приходько Николай Васильевич** – начальник управления АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-95-00, доб. 97-98.

E-mail: N.Prihodko@tmnpo.ru

Prihodko Nikolay Vasilyevich – office head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel. +7(495) 689-95-00, доб. 97-98.

E-mail: N.Prihodko@tmnpo.ru

**Чернодед Игорь Иванович** – руководитель проекта АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-31-73, доб. 24-58.

E-mail: I.Chernoded@tmnpo.ru

Chernoded Igor Ivanovich – project manager of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel. +7(495) 689-31-73, ext. 24-58.

E-mail: I.Chernoded@tmnpo.ru

**Суворов Ян Константинович** – инженер-технолог 3-й категории АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-95-81, доб. 23-13

E-mail: Y.Suvorov@tmnpo.ru

Suvorov Ian Konstantinovich – 3rd category process engineer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel. +7(495) 689-95-81, доб. 23-13

E-mail: Y.Suvorov@tmnpo.ru

**Цырков Александр Владимирович** – д-р техн. наук, главный научный сотрудник АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. +7(495) 689-95-26, доб.97-01.

E-mail: A.Tsyrcov@tmnpo.ru

Tsyrcov Aleksandr Vladimirovich – Ph.D. in Engineering, Principal Research Officer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».

Tel.: 8(495)689-74-34, ext. 24-31.

E-mail: A.Tsyrcov@tmnpo.ru



УДК 629.784

*Лукьянчик В.В.  
Lukianchik V.V.*

## **Новые подходы к определению весовых коэффициентов значимости показателей оценки готовности предприятий к реализации заданий производственной программы**

### **New approaches to determining the weighting coefficients of the significance for indicators of assessing the enterprises' readiness to implement production programme targets**

Сформирована задача повышения точности оценки реализуемости технологических опытно-конструкторских работ по созданию и производству изделий ракетно-космической техники на основе применения нового метода определения весовых коэффициентов для определения частных показателей реализуемости производственной программы. Проведен сравнительный анализ предложенного методического подхода с существующими методиками оценки промышленно-производственного потенциала предприятий.

The task of increasing the estimation accuracy for technological feasibility assessment of experimental and design works on creation and production of aerospace equipment products on the application of a new determination method of weighting coefficients for determining private indicators of production programme feasibility is formed. A comparative analysis of the proposed methodological approach with the existing methods to assess the industrial and production potential of enterprises has been carried out.

**Ключевые слова:** ракетно-космическая промышленность, ракетно-космическая техника, опытно-конструкторская работа, весовой коэффициент, производственная программа.

**Keywords:** aerospace industry, aerospace equipment, experimental design project, weighting factor, production programme.

В условиях растущей конкуренции на мировом космическом рынке и ограниченного бюджетного финансирования мероприятий по созданию в заданные сроки перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ) решение задачи эффективного использования бюджетных средств, выделяемых в рамках государственных и федеральных целевых программ, определяется степенью организации и обеспечения инновационных и инвестиционных проектов развития производственной и испытательной базы предприятий/организаций ракетно-космической промышленности (РКП).

Одной из подзадач повышения эффективности использования бюджетных средств на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) может являться задача получения прогнозной оценки внедрения результатов ОКР в технологические процессы производства РКТ, а также прогноз реализуемости инвестиционных про-

ектов по техническому перевооружению производственной базы РКП на этапе формирования предложений в государственные и федеральные целевые программы.

Существующая научная проблема, решаемая в рамках данной статьи, состоит в том, что действующие методики оценки реализуемости предложений в проект заданий производственной программы по технологическому обеспечению создания РКТ с заданными показателями качества и надежности на текущий и плановый период (далее – задания производственной программы) не учитывают в полной мере влияние дестабилизирующих факторов экономического и технического характера при определении весовых коэффициентов значимости частных показателей уровня производственно-технологической готовности предприятий РКП к созданию и серийному производству перспективных изделий РКТ [1].

В работе рассматриваются два методических подхода определения весовых коэффициентов значимости частных показателей и их влияние на прогнозные оценки готовности предприятий к реализации заданий производственной программы. В этих подходах проведение работ по оценке готовности производственной и испытательной базы предприятий отрасли выполняется в рамках разработанного автором алгоритма.

Основными организационными этапами работ по оценке готовности предприятий РКП к реализации заданий производственной программы на очередной и плановый период являются:

- формирование отраслевого перечня заданий (ОКР технологической направленности), направленных на разработку промышленных технологий;
- формирование состава экспертной комиссии;
- расчет прогнозной оценки готовности предприятий РКП к реализации заданий производственной программы.

Отраслевой перечень формируется по предложениям государственного заказчика (Госкорпорации «Роскосмос») в части реализации заданий производственной программы на очередной расчетный период. В перечне учитывается номенклатура ОКР и ответственные исполнители (организации РКП) за выполнение этих работ. По номенклатуре сформированного перечня технологических ОКР экспертами проводится прогнозная оценка уровня готовности предприятий РКП к реализации заданий производственной программы с учетом выделенного бюджетного финансирования на очередной и плановый период, определяемый условиями бюджетного финансирования.

В состав комиссии включаются эксперты головных научно-исследовательских организаций РКП по направлениям деятельности, определёнными нормативными правовыми актами Госкорпорации «Роскосмос».

Работы по формированию отраслевого перечня и созданию экспертной комиссии проводит организация-координатор работ научно-технологического сопровождения государственных программ (АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»), которая проводит анкетирование и рассылку опросных форм в организации РКП, в которых

планируется выполнение ОКР в обеспечение создания и серийного производства РКТ.

Опыт решения задачи в 2017–2020 годах в части РКП по определению прогнозных оценок реализации программных мероприятий государственных и федеральных целевых программ показал необходимость формирования отдельного отраслевого перечня ОКР для создаваемых в рамках целеполагания перспективных изделий РКТ, так и дополнительного отраслевого перечня производства серийных изделий РКТ [2]. Для каждого отраслевого перечня формируются частные показатели оценки заданий производственной программы, которые в виде опросных форм направляются на предприятия РКП для получения самооценки самого предприятия по результатам выполнения заданий производственной программы.

Комиссия для получения экспертной оценки о готовности предприятий РКП к реализации заданий производственной программы анализирует поступившие материалы от предприятий РКП или координатора работ научно-технологического сопровождения программ. При оценке готовности предприятий РКП к реализации заданий производственной программы комиссией дополнительно учитываются данные прогноза загрузки предприятий-разработчиков и изготовителей РКТ, представленные АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Задача комиссии (экспертов) определить балл на каждую качественную оценку показателя, данную головным предприятием-исполнителем ОКР и/или инвестиционного проекта. Для каждого варианта качественной оценки в опросных формах даны несколько вариантов балльной оценки. Балльные оценки от 0 до 10 проставляют эксперты, опираясь на дополнительную информацию (материалы) интегрированных структур (поставщиков финишных изделий РКТ) в рамках научно-технологического сопровождения выполнения ОКР и реализации инвестиционных проектов по созданию конкурентоспособных изделий РКТ. Максимальный уровень производственно-технологической готовности предприятий отрасли к реализации заданий производственной программы оценивается единицей, минимальный – нулем.

Выбор частных показателей готовности (j) предприятий РКП к реализации заданий производственной программы рассмотрим на отдельном





примере выполнения опытно-конструкторской работы по созданию нового типа ракеты-носителя среднего класса – ОКР «РН среднего класса».

При равных приоритетах характеристик частных показателей ниже представлены два методических подхода определения весовых значений частных показателей для определения общего уровня готовности (G) предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса».

Для определения удельного веса каждого частного показателя  $\lambda_j$  при фиксированном числе выбранных показателей равном 9 ( $j = 1, \dots, 9$ ) используется следующее выражение:

$$\lambda_j = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^9 s_j}, \quad (1)$$

где  $S_j$  – значение коэффициента весомости для  $j$  показателя уровня готовности (G) к созданию РН среднего класса.

В первом подходе [3] для расчета удельного веса частных показателей  $\lambda_j$  согласно формуле (1) требуется рассчитать величины ненормированного коэффициента весомости эффективности ( $S_j$ ) в соответствии со следующим выражением:

$$S_j = \frac{j}{2^{j-1}}. \quad (2)$$

Применительно к решаемой задаче (при  $j = 9$ ) значения  $S_j$ , рассчитанные по формуле (2), представлены в табл. 1.

Во втором, предложенном автором, подходе удельный вес частных показателей  $\mu_j$  определялся процедурой экспертной оценки специалистами организации-координатора готовности предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса» в рамках ГП «Развитие ОПК» (табл. 2).

**Таблица 1. Значения коэффициента весомости заданий**

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_j$	1	1	0,75	0,5	0,31	0,19	0,11	0,06	0,04

**Таблица 2. Значения удельных весов частных показателей**

Номер частного показателя j	Наименование частного показателя	Удельный вес коэффициента частного показателя	
		расчетный метод ( $\lambda_j$ )	экспертный метод ( $\mu_j$ )
1	Научно-технический задел	0,25	0,20
2	Обеспеченность лабораторно-экспериментальной базой	0,25	0,15
3	Технологическая обеспеченность	0,19	0,15
4	Обеспеченность элементной базой	0,12	0,15
5	Обеспеченность материалами и сырьем	0,08	0,10
6	Обеспеченность научно-техническими кадрами	0,05	0,10
7	Готовность кооперации	0,03	0,05
8	Финансовая обеспеченность выполнения ОКР	0,02	0,05
9	Обоснованность возможности разработки образца с требуемыми характеристиками	0,01	0,05



Сумма выбранных экспертным путем весовых показателей равна условию:

$$\sum_{j=1}^9 \mu_j = 1. \quad (3)$$

Выбранные частные показатели для оценки реализуемости ОКР «РН среднего класса» и значения весовых коэффициентов для данных показателей, определенные по двум методическим подходам, представлены в табл. 3.

Для однозначности выбора методического подхода по формированию значений частных показателей готовности к реализации заданий производственной программы воспользуемся гипотетическим примером оценки своей готовности предприятия-разработчика средств выведения к созданию РН среднего класса. Значения собственных оценок показателей готовности к выполнению ОКР «РН среднего класса» в соответствии с предложенными при анкетировании вариантами приведены в табл. 3. Данные значения приняты в качестве исходных данных (для варианта  $h=0$  – без учета весовых коэффициентов) по самооценке предприятием готовности  $G_h$  к реализации заданий производственной программы.

Расчет общего уровня готовности предприятия-разработчика РН к реализации ОКР «РН среднего класса» без учета весовых коэффициентов значимости показателей готовности определяется по формуле (4):

$$G_h = \frac{\sum_{j=1}^9 g_j^*}{J \cdot 10}, \quad (4)$$

где  $g_j^*$  – оценка эксперта в баллах предложения по  $j$ -тому показателю;  $J$  – количество частных показателей, используемых для оценки реализации заданий производственной программы (для оценки реализуемости технологического ОКР  $J=9$ );  $j$  – номер частного показателя оценки реализации заданий производственной программы.

Значения  $G_h$ , полученные по формуле (4), представлены в табл. 3.

На основании одобренных экспертами вариантов балльных оценок ( $g_j$ ) по всей группе частных показателей (табл. 3) рассчитаем общий уровень ( $G_h$ ) готовности предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса» с учетом

весовых коэффициентов частных показателей, рассчитанных для двух вариантов ( $h=1$  – расчетный метод и  $h=2$  – экспертный метод) в соответствии с формулой (5). Прогнозные значения готовности предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса» в расчетный период 2019–2021 годов для различных вариантов определения весовых коэффициентов значимости ( $\lambda_j, \mu_j$ ) представлены в табл. 4. В табл. 4 также приведены отклонения (в %) значений общего уровня ( $G_h$ ) готовности предприятия-разработчика, полученные с учетом весовых коэффициентов значимости к значениям общего уровня, полученным без весовых коэффициентов (табл. 3).

Формула расчета общего уровня готовности предприятия-разработчика РН к реализации ОКР «РН среднего класса» с учетом весовых коэффициентов значимости показателей готовности определяется по формуле:

$$G_h = \frac{\sum_{j=1}^9 \mu_j g_j^*}{10}, \quad (5)$$

где  $g_j$  – оценка эксперта в баллах предложения по  $j$ -тому показателю;  $j$  – номер частного показателя;  $\mu_j$  – весовой коэффициент частного показателя  $j$ .

По результатам проведенных расчетов определения значений обобщенных показателей  $G_{h=1}(\lambda_j)$  и  $G_{h=2}(\mu_j)$  к реализации заданий производственной программы создания РН среднего класса построены графики изменения общего уровня готовности предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса» для различных вариантов. Динамика изменения уровня готовности к реализации производственной программы представлена на рис. 1.

В результате решения поставленной задачи выявлено существенное влияние выбора метода для расчета весовых коэффициентов значимости на точность и достоверность оценок уровня готовности предприятия к реализации заданий производственной программы.

На рис. 1 кривой серого цвета представлена оценка (номинальная) производственно-технологической готовности предприятия-разработчика средств выведения к выполнению ОКР «РН среднего класса» без учета влияния весовых коэффициентов.



**Таблица 3. Значения собственных оценок показателей готовности к выполнению ОКР «РН среднего класса»**

Наименования показателей (j)	Варианты качественных оценок	Варианты оценок в баллах (g)	Текущий год	Задания производственной программы		
			2018	1	2	3
			экспертная оценка в баллах (g*)			
Научно-технический задел	– высокий (проводилась разработка образцов-аналогов)	9–10			9	9
	– удовлетворительный (проводилась разработка типовых образцов)	4–8	8	8		
Обеспеченность испытательной базой	– условно достаточная (с учетом дооснащения лабораторно-экспериментальной базы)	4–8	6	6	6	7
Технологическая обеспеченность	– достаточно высокая	9–10				9
	– удовлетворительная (новые технологии разработаны, но не внедрены)	4–8	8	8	8	
Обеспеченность элементной базой	– условно удовлетворительная (имеется возможность обеспечить за счет закупок в странах ближнего зарубежья)	3–4	3			
	– недостаточная (имеется возможность обеспечить за счет закупок в странах дальнего зарубежья)	1–2		2	2	2
Обеспеченность материалами и сырьем	– условно достаточная (с учетом выполнения плановых мероприятий)	5–8	5			
	– недостаточная (имеется возможность обеспечить за счет закупок в странах ближнего зарубежья)	3–4		4	4	4
Обеспеченность научно-техническими кадрами	– достаточно высокая	9–10	9	9	9	9
Готовность кооперации	– высокая (устоявшаяся кооперация)	9–10	9	9	9	9
Финансовая обеспеченность выполнения ОКР	– высокая (работы обеспечены на 100%)	9–10	9			
	– условно удовлетворительная (работы обеспечены на уровне 70–80%)	4–8		8	8	8
Обоснованность возможности разработки образца с требуемыми характеристиками	– достаточно высокая	9–10	9	9	9	
	– условно достаточная (с учетом выполнения плановых мероприятий по обеспечению качества и надежности)	4–8				8
$G_{h=0}$ (без учета весовых коэффициентов)			0,73	0,70	0,71	0,72

**Таблица 4. Прогнозные значения готовности предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса» для различных вариантов**

Вариант методического подхода	Результаты оценок, отклонения			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
$G_{h=0}$	0,73	0,70	0,71	0,72
$G_{h=1}(\lambda_j)$	0,67	0,65	0,67	0,72
Отклонение $G_{h=1}(\lambda_j)$ от $G_{h=0}$ в %	-8,2	-7,1	-5,6	0
$G_{h=2}(\mu_j)$	0,69	0,66	0,68	0,71
Отклонение $G_{h=2}(\mu_j)$ от $G_{h=0}$ в %	-5,5	-5,7	-4,3	-1,4

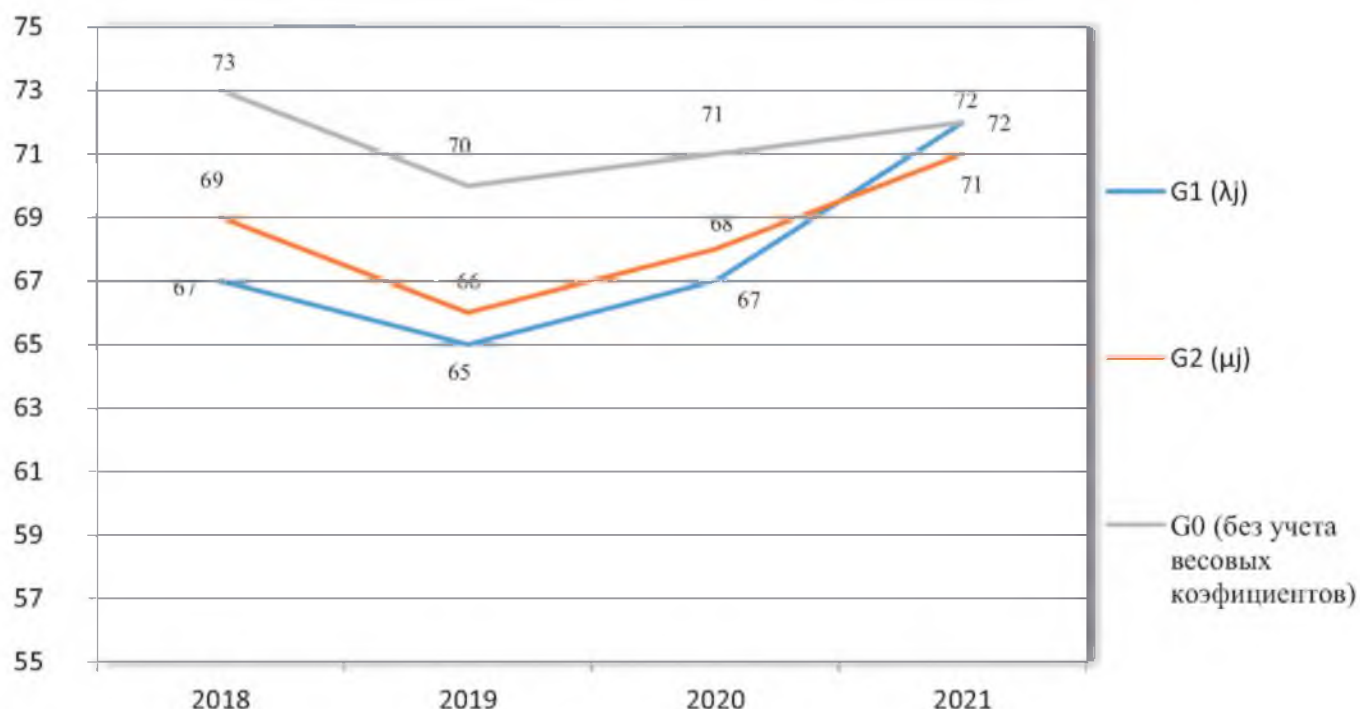


Рис. 1. Динамика изменения готовности предприятия-разработчика к реализации ОКР «РН среднего класса»

Использование первого варианта для определения весовых коэффициентов расчетным методом для оценки производственно-технологической готовности предприятия к реализации ОКР «РН среднего класса» показало изменение относительно номинальных оценок готовности предприятия на 8,2% в 2019 г. и до 0% в 2021 г. (в среднем на 5,2%) к реализации заданий производственной программы, рассчитанных без весовых коэффициентов в расчетный период.

Искомые значения по второму варианту оценки производственно-технологической готовности предприятия к реализации ОКР «РН среднего класса» с учетом определения весовых коэффициентов экспертным методом показали более равномерный характер изменений относительно номинальных оценок готовности предприятия на всех рассматриваемых временных интервалах с отклонениями от 5,5 до 1,4% (в среднем на 4,2%).

### Заключение

Второй способ определения весовых коэффициентов экспертным методом показал практическую значимость его применения к оценке производственно-технологической готовности предприятий РКП к реализации заданий производственной программы при условии формиро-

вания отраслевого перечня и экспертной комиссии предприятием-координатором выполнения программных мероприятий государственных и федеральных целевых программ в области космической деятельности и обороноспособности страны.

### Библиографический список

1. Гапоненко О.В., Лукьянчик В.В., Сенников Д.А. Основные аспекты оценки реализуемости мероприятий по подготовке производства космических аппаратов целевого назначения // Двойные технологии. – 2016. – № 2(75). – С. 33–36.
2. Об утверждении государственной программы Российской Федерации Развитие оборонно-промышленного комплекса: утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 16.05.2016 № 425-8. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/106669/> (дата обращения: 27.09.2023).
3. Кузин А.И. Методика оценки промышленно-производственного потенциала и степени готовности предприятий к реализации производственной программы // Вестник НПО Техномаш. – 2018. – № 5. – С. 4–6.

**Лукьянчик Владимир Владимирович** – канд. техн. наук, доцент, начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».  
Тел.: +7(495) 689-95-07. E-mail: [lvv@tmnpo.ru](mailto:lvv@tmnpo.ru)

**Lukianchik Vladimir Vladimirovich** – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor, Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac»».  
Tel.: +7(495) 689-95-07. E-mail: [lvv@tmnpo.ru](mailto:lvv@tmnpo.ru)



УДК 629.7:658.51

Кондратенко А.Н.  
Kondratenko A.N.

## Систематизация статистических данных и исследования развития активных основных фондов и оборудования ракетно-космической промышленности (часть 1)

### Statistical data systematisation and research on the development of active fixed assets and equipment of the aerospace industry (Part 1)

За период 1970–2022 гг. проведена систематизация и анализ характерных особенностей статистических данных по возрастному составу, среднему возрасту, износу, загрузке оборудования и численности работников ракетно-космической промышленности. В сопоставимых ценах рассмотрено состояние активных основных фондов и в целом основных фондов ракетно-космической промышленности для периода 1998–2021 гг. Проведен сопоставительный анализ показателей исследуемых характеристик развития ракетно-космической промышленности с аналогичными показателями развития промышленности России. Для периода 2004–2021 гг. рассмотрены характерные особенности влияния осуществляемых капитальных вложений и изменения численности работников на выработку, фондовооруженность и фондоотдачу. Статья состоит из двух частей.

Systematisation and analysis of the characteristic features in statistical data on the age composition, average age, wear and tear, equipment utilisation and number of employees in the rocket and space industry has been carried out for the period 1970-2022. The state of active fixed assets and in general fixed assets of the aerospace industry for the period of 1998-2021 is considered in comparable prices. The comparative analysis of the studied characteristics of aerospace industry development indicators with similar indicators of Russian industry development was carried out. For the period of 2004-2021, the characteristic features of the impact of capital investments and changes in the number of employees on output, stock capacity and stock efficiency are considered. The article is divided into two parts.

**Ключевые слова:** активные основные фонды, возрастной состав, выработка, коэффициенты ввода и обновления, загрузка, износ, индекс-дефлятор, капитальные вложения, оборудование, ракетно-космическая промышленность, средний возраст, фондовооруженность, фондоотдача, численность работников.

**Keywords:** active fixed assets, age structure, production output, utilization, depreciation, deflator index, capital investments, equipment, aerospace industry, average age, capital labour ratio, return on investment, number of employees.

#### Периметр анализа и систематизация исходной статистической информации

В статье для периода до 2011 г. включительно рассматривается состояние и развитие активных основных фондов (АОФ), в том числе оборудования, ракетно-космической промышленности (РКП) в периметре полного состава 15 интегрированных структур (ИС) РКП, включающих в себя более 71 организаций и предприятий РКП (состав организаций и предприятий РКП 1 – СОП1 РКП):

ИС, разрабатывающие и выпускающие финишные изделия ракетно-космической техни-

ки (РКТ) – АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», ПАО «РКК «Энергия» (в том числе ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия»), АО «РКЦ «Прогресс» (в том числе АО «НПО автоматики», АО «НИИ командных приборов»), АО «ИСС» (в том числе АО «ИТЦ – НПО ПМ», АО «НПО ПМ – Малое Конструкторское Бюро», АО «НПО ПМ – Развитие», АО «НПЦ «Полус», АО «НПП «Геофизика-Космос», АО «НПП «Квант», АО «НПП КП «Квант», АО «СПС», АО «Сибпромпроект»),



АО «Корпорация «ВНИИЭМ» (в том числе АО «НИИЭМ», АО «МЗЭМА», АО «ПКП «ИРИС», АО «НПО «Новатор», АО «Технический центр «Новатор»), АО «ГРЦ Макеева» (в том числе АО «Красмаш», АО «Златмаш», АО «ММЗ», АО «НИИ «Гермес»), АО «Корпорация «МИТ» (в том числе АО «Воткинский завод», АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады», АО «Ижевский мотозавод «Аксион-Холдинг», АО «ФНПЦ «Алтай», АО «ГОКБ «Прожектор», АО «ММЗ «Вымпел», АО НПК АльтЭн», АО «ЦНИИСМ»), АО «НПО Энергомаш» (в том числе АО «НИИмаш», АО «ОКБ «Факел», АО «КБхиммаш им. А.М. Исаева», АО «Протон-ПМ», АО «КБХА», АО «Турбонасос»), АО «ВПК «НПО машиностроения» (в том числе АО «ПО «Стрела», АО «НПО электромеханики», АО «ПЗ «Маш», АО «Авангард», АО «УНИИКМ»), АО «Корпорация «Комета» (в том числе АО «Субмикрон», АО «НИИ ОЭП»);

ИС, специализирующихся на приборостроении – АО «РКС» (в том числе АО «НИИ ТП», АО «НИИФИ», АО «НПО ИТ», АО «ОКБ «МЭИ», АО «НПО «Орион», АО «Терра Тех»), АО «НПЦАП», АО «НПК «СПП» (в том числе АО «106 ЭОМЗ», АО «НИЦ ЭТУ», АО «Базальт»);

ИС различного назначения – АО «ЦЭНКИ», АО «Корпорация «СПУ-ЦКБ-ТМ» (в том числе АО «ЦКБ ТМ», АО «ЦКБ «Геофизика», АО «ОКБ ПТ»), ФКП «НИЦ РКП», а также 16 самостоятельных организаций и предприятий:

– научно-производственные предприятия и конструкторские бюро – АО «НПО Лавочкина», АО «КБ «Арсенал», ПАО «НПО «Искра», ПАО «Сатурн», АО «НИИ ТМ», АО «НИАИ «Источник», АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», АО «НПО «Импульс»;

– промышленные предприятия – АО МЗ «Арсенал», АО «Турбонасос», АО «УКВЗ»;

– головные научно-исследовательские институты – АО «ЦНИИмаш», АО ГНЦ «Центр Келдыша», АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева», АО «Композит», АО «Организация «Агат». Здесь для ИС не указаны филиалы и структурные подразделения, которые до образования ИС являлись самостоятельными предприятиями, и которые учитываются на всем исследуемом периоде времени.

Указом Президента Российской Федерации от 27.10.2012 №1443 «О развитии акционерного

общества «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» АО «ВПК «НПО машиностроения» включено в состав ИС АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение».

Указом Президента Российской Федерации от 05.02.2015 №56 «Об акционерном обществе «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» ИС АО «Корпорация «Комета» включено в ИС АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей». Аналогично, после 2012 г. из ведения Федерального космического агентства (Роскосмос) выведены АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга» и АО «НПО «Импульс». В указанный период в состав ФКА (Роскосмос) и подведомственных ему ИС включен ряд новых организаций и предприятий – АО «Салаватский химический завод», АО «Ярославский радиозавод» и др. Начиная с 2012 г., по указанным ИС, организациям и предприятиям совокупная статистическая информация для исследуемых в настоящей работе вопросов в открытой печати отсутствует, а в ряде случаев практически невозможна. Поэтому для периода после 2012 года включительно в обеспечение адекватной прослеживаемости исследуемых характеристик активных фондов РКП, в том числе промышленного оборудования РКП, из исходного периметра рассмотрения 15 ИС и 16 самостоятельных организаций и предприятий исключены ИС АО «ВПК «НПО машиностроения», ИС АО «Корпорация «Комета» и АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», АО «НПО «Импульс», АО «МОКБ «Марс» – состав организаций и предприятий РКП 2 – СОП2 РКП.

В период 2001–2022 гг. объем продукции и услуг рассматриваемых организаций и предприятий составляет более 94,5% от общего объема выпускаемой продукции и услуг РКП, численность работников – более 93,4% от общей численности работников организаций и предприятий РКП, а количество единиц промышленного оборудования, стоимость АОФ и пассивных основных фондов (ПОФ) – более 98%. С учетом изложенных обстоятельств точность и качественное поведение исследуемого развития оборудования, АОФ, и ПОФ для указанного периметра рассмотрения организаций и предприятий РКП с точностью не хуже 6% соответ-

ствуют значениям соответствующих характеристик в целом для РКП для периода до 2011 г., а для периода после 2012 г. (включая 2012 г.) – в целом для РКП без учета ИС АО «ВПК «НПО машиностроения», ИС АО «Корпорация «Комета» и АО «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», АО «НПО «Импульс».

Все исходные верифицированные статистические данные представлены в табл. 1 – индексы-дефляторы капитальных вложений за период 1997–2025 гг. (столбец 3), индексы-дефляторы объемов производства машин и оборудования (столбец 2), численность работников организаций

и предприятий РКП (столбец 4), численность работников Госкорпорации «Роскосмос» (столбец 5), загрузка производственных мощностей организаций и предприятий РКП (столбец 6), а также в табл. 2 – возрастной состав (столбцы 2, 5), средний возраст (столбцы 3, 6) и износ оборудования (столбцы 4, 7), соответственно РКП и промышленности России. Источники исходной статистической информации [1–48]. Для промышленности России в 1980–2006 гг. приведен средний возраст промышленного оборудования; в 2007–2020 гг. приведен средний возраст машин и оборудования в соответствии с [34–48].

**Таблица 1. Индексы-дефляторы Минэкономразвития России, численность работников, загрузка мощностей РКП**

Год	Индекс-дефлятор производства машин и оборудования – ИДМО	Индекс-дефлятор капитальных вложений – ИДС	Численность работников РКП, тыс. чел	Численность работников Госкорпорации «Роскосмос», тыс. чел	Загрузка производственных мощностей РКП, %
1	2	3	4	5	6
1987			400 [54]		
1991*	1,95 [14]				71,4 [**]
1992	14,10 [14]				61,9 [**]
1993	8,35 [14]				45,3 [**]
1994	4,08 [14]		300 [54]		43,3 [**]
1995	2,79 [14]				40,6 [**]
1996	1,58 [14]				31,7 [**]
1997	1,03 [14]	1,145 [1, 2]			32,7 [**]
1998	1,1 [14]	1,055 [2]			28,6 [**]
1999	1,71 [14]	1,568 [2, 3]			32,1 [**]
2000	1,36 [3]	1,48[2] (1,43 по [3])			33,4 [**]
2001	1,403 [4]	1,26[2] (1,18 по [3])	270 [15, 16]		30,5 [**]
2002	1,138 [4]	1,139 [2, 5]	262,5[**]		27,4 [**]
2003	1,1991 [4]	1,103 [2, 5]	256,7 [**]		30,4 [**]
2004	1,1067 [4]	1,152 [5]	254,1 [**]		32,5 [**]
2005	1,097 [5]	1,136 [5]	250,2 [**]		35,6[**]
2006	1,201 [5]	1,122 [5]	249,6 [**]		36,2 [**]
2007	1,139 [5]	1,157 [5]	249,3 [17]		39,7 [**]
2008	1,131 [7]	1,194 [7]	236,6 [17]		41,2 [**] (36,2% по [18])
2009*	1,191 [7]	1,050 [7]	232,8 [**]		42,1 [**]





Продолжение табл. 1.

2010*	1,094 [7]	1,080 [7]	234,5 [**]		44,5 [**] (44,5% по [18])
2011*	1,129 [7]	1,088 [7]	237,5 [**]		46,0 [**] (49,8% по [18])
2012	1,048 [7]	1,068 [7]	235,9 [**]		47,0 [**], [24]
2013	1,068 [7]	1,060 [7]	237,4 [19]		52,4 [19]
2014	0,989 [7]	1,049 [7]	238 [19]		49,9 [19]
2015	1,121 [7]	1,143 [7]	235,7 [20]		50,1 [19]
2016	1,059 [8]	1,063 [8]	232,3 [20,21]	185,7 [20]	50,1 [20]
2017*	1,077 [9]	1,037 [9]	220,0 [22]	174,3 [20]	40,0 [**],[22]
2018	1,097 [10]	1,053 [10]		189,5 [20]	34,0 [**]
2019	0,98 [11]	1,068 [11]		195,8 [20]	34,4[**],[25]
2020	0,916 [12]	1,056 [12]		181,1 [20]	35,0 [**],[25]
2021	1,091 [13]	1,049 [13]			
2022	1,153 [13]	1,139 [13]		170,5 [23]	
2023	1,071 [13]	1,059 [13]			
2024	1,057 [13]	1,053 [13]			
2025	1,052 [13]	1,048 [13]			

Примечание: [\*\*] – оценка, полученная автором на основе запроса данных при мониторинге состояния предприятий и организаций РКП и данных исследований ФГУП «НПО «Техномаш», проведенных под руководством Чмелева Г.Б. до 2004 г.; 1991\* – в 1991–2003 годы загрузка промышленных предприятий РКП; 2009\*, 2010\* – данные по загрузке производственных мощностей получены автором в рамках «Системного проекта Стратегия развития космонавтики России на долгосрочную перспективу. Книга 16. «Стратегия развития ракетно-космической промышленности», ФГУП ЦНИИ-маш, 2011; 2011\* – по данным [18] в РКП 235,0 тыс. чел.; 2017\* – по данным [22] загрузка РКП в 2017 г. составляет 55%

Численность работников рассматриваемых организаций и предприятий РКП, необходимая при определении выработки и фондовооруженности, представлена на рис. 1 и для периода 2001–2011 гг. совпадает с данными табл. 1 (в целом по РКП), столбец 4.

Рассмотрение стоимостных данных проводится в базовых ценах (начало 1998 г.). Для приведения к сопоставимым ценам объемов финансирования капитальных вложений, стоимости ОФ, АОФ и ПОФ используются индексы-дефляторы капитальных вложений (столбец 3 табл. 1). Приведение к сопоставимым ценам (ценам одного года) объемов выпуска продукции и услуг РКП осуществляется с использованием индексов-дефляторов для производства машин и оборудования (столбец 3 табл. 1).

С 1 января 1998 г. организации и предприятия вправе самостоятельно переоценивать ОФ не чаще одного раза в год [49, 50]. В ряде случаев при существующей нормативной базе и неполной фактической загрузке ОФ производственной программой и применении нормативных сроков амортизации ОФ самостоятельная переоценка может приводить к искусственному занижению их фактической стоимости [50, 51]. Не всегда понятны и сопоставимы для различных организаций и предприятий основные подходы проводимых переоценок ОФ. Поэтому для объективного и сопоставимого рассмотрения АОФ РКП проводимая переоценка ОФ организациями и предприятиями РКП в настоящей работе элиминирована.



Таблица 2. Исходные статистические данные по возрастному составу, среднему возрасту и износу оборудования РКП и промышленности России

Год	Состав оборудования РКП до 10 лет, 11-20 лет, более 20 лет, %	Средний возраст по РКП, лет	Износ по РКП, %	Состав оборудования по промышленности России: до 10 лет, 11-20 лет, более 20 лет, %	Средний возраст по промышленности России, лет [***]	Износ по промышленности России, %. [***]
1	2	3	4	5	6	7
1970	до 10 лет – 73,1%; 11-20 лет – 18,0%; более 20 лет – 8,9% [**]			до 10 лет – 70,8%; 11-20 лет – 20,9%; более 20 лет – 8,3% [34, 36]		
1975	до 10 лет – 67,7%; 11-20 лет – 24,8%; более 20 лет – 7,5% [**]			до 10 лет – 67,2%; 11-20 лет – 23,8%; более 20 лет – 9% [34, 36]		
1980	до 10 лет – 60,3%; 11-20 лет – 32,5%; более 20 лет – 7,2% [**]	9,7 [**]		до 10 лет – 64,2%; 11-20 лет – 25,1%; более 20 лет – 10,7% [34, 36]	9,5 [33, 34, 36]	
1985	до 10 лет – 58,1%; 11-20 лет – 34,2%; более 20 лет – 7,7% [**]	10 [**]		до 10 лет – 61,3%; 11-20 лет – 25,8%; более 20 лет – 12,9% [34, 36]	10,2 [33, 36]	
1987	до 10 лет – 57,1%; 11-20 лет – 32,2%; более 20 лет – 10,7% [**]	10,3 [**]		до 10 лет – 59,9%; 11-20 лет – 26,4%; более 20 лет – 13,7% (**)	10,4 [33]	
1988	до 10 лет – 56,1%; 11-20 лет – 30,1%; более 20 лет – 13,8% [**], [26]	10,7 [**]		до 10 лет – 59,2%; 11-20 лет – 26,7%; более 20 лет – 14,2% (**)	10,5 [33]	
1989	до 10 лет – 54,6%; 11-20 лет – 27,4%; более 20 лет – 18% [**]	12,9 [**]		до 10 лет – 58,4%; 11-20 лет – 27%; более 20 лет – 14,6% (**)	10,7 [33]	
1990	до 10 лет – 31,7%; 11-20 лет – 32,1%; более 20 лет – 36,2% [**]	13,6 [**]		до 10 лет – 70,8%; 11-20 лет – 20,9%; более 20 лет – 8,3% [34, 36]	10,8 [33, 34, 35, 36]	
1991	до 10 лет – 29,4%; 11-20 лет – 33,6%; более 20 лет – 37,1% [**]	14,4 [**]		до 10 лет – 55%; 11-20 лет – 28,8%; более 20 лет – 16,3% (**)	11,4 [33]	
1992	до 10 лет – 27%; 11-20 лет – 35%; более 20 лет – 38% [**]	15,45 [**]		до 10 лет – 52,2%; 11-20 лет – 30,2%; более 20 лет – 17,6% [34, 36]	12,1 [33]	56,29 [42]

Продолжение табл. 2.

1993	до 10 лет – 23,9%; 11-20 лет – 37,1%; более 20 лет – 39,0% [**]	16,8 [**]	57,6 [**]	до 10 лет – 48,5%; 11-20 лет – 32,3%; более 20 лет – 19,2% [34, 36]	12,7 [33,34]	47,42 [42]
1994	до 10 лет – 20,4%; 11-20 лет – 40,5%; более 20 лет – 39,1% [**], [*]	18,8 [*]	61,1 [**]	до 10 лет – 44,5%; 11-20 лет – 34,5%; более 20 лет – 21% [34, 36]	13,4 [33]	62,74 [42]
1995	до 10 лет – 16,4%; 11-20 лет – 40,6%; более 20 лет – 43% [26], [*]	19,8 [*]	62,4 [**]	до 10 лет – 39,9%; 11-20 лет – 36,9%; более 20 лет – 23,2% [34, 36]	14,3 [33, 34, 36]	63,81 [42]
1996	до 10 лет – 13,4%; 11-20 лет – 41,1%; более 20 лет – 45,5% [*]	20,5 [*]	65,7 [**]	до 10 лет – 34,7%; 11-20 лет – 39,5%; более 20 лет – 25,8% [34, 36]	15,6 [33, 36]	65,86 [42]
1997	до 10 лет – 11,8%; 11-20 лет – 40,6%; более 20 лет – 47,6% [*]	21 [*]	66,5 [**]	до 10 лет – 29,3%; 11-20 лет – 41,7%; более 20 лет – 29% [34, 36]	16,1 [33, 34, 36]	67,87 [42]
1998	до 10 лет – 9,7%; 11-20 лет – 38,9%; более 20 лет – 51,4% [*]	21,7 [*]	65,0 [**]	до 10 лет – 24,2%; 11-20 лет – 44,2%; более 20 лет – 31,6% [34, 36]	17,0 [33, 36]	68,17 [42]
1999	до 10 лет – 5,3%; 11-20 лет – 38,8%; более 20 лет – 55,9% [26], [*]	22,9 [*]	64,2 [**]	до 10 лет – 19,3%; 11-20 лет – 45,8%; более 20 лет – 34,9% [34, 36]	17,9 [33, 34, 36]	65,78 [42]
2000	до 10 лет – 4%; 11-20 лет – 34,9%; более 20 лет – 61,1% [*]	23,81 [*]	62,3 [**]	до 10 лет – 15,3%; 11-20 лет – 46,5%; более 20 лет – 38,2% [34, 36]	18,7 [33, 34, 35, 36]	62,59 [42]
2001	до 10 лет – 3,4%; 11-20 лет – 33,8%; более 20 лет – 62,8% [27], [*]	24,1 [*]	62,8 [**]	до 10 лет – 13,3%; 11-20 лет – 45,1%; более 20 лет – 41,6% [34, 36]	19,4 [33, 34, 37]	59,18 [42]
2002	до 10 лет – 2,8%; 11-20 лет – 32,8%; более 20 лет – 64,4% [27], [*]	24,4 [*]	63,4 [**]	до 10 лет – 12,5%; 11-20 лет – 42,8%; более 20 лет – 44,7% [34, 36]	20,0 [33, 37]	60,72 [42]
2003	до 10 лет – 2,7%; 11-20 лет – 30,7%; более 20 лет – 66,6% [27], [*]	24,7 [*]	63,4 [**]	до 10 лет – 12,7%; 11-20 лет – 39,1%; более 20 лет – 48,2% [34, 36]	20,7 [33,34,38]	58,61 [42]

Продолжение табл. 2.

2004*	до 10 лет – 2,2%; 11-20 лет – 27,8%; более 20 лет – 70% [27, 28, 29, 30], [1*]	24,8 [1*]	64,7 [1**]	до 10 лет – 13,7%; 11-20 лет – 34,8%; более 20 лет – 51,5% [34, 36]	21,2 [33, 35, 38]	57,17 [42]
2005	до 10 лет – 1,1%; 11-20 лет – 26,3%; более 20 лет – 72,6% [27, 28]	26 [1**]	65,6 [1**]	до 10 лет – 14,7%; 11-20 лет – 31,5%; более 20 лет – 53,8% [34, 36]	21,5 [34]	54,9 [34]
2006*	до 10 лет – 1,7%; 11-20 лет – 19%; более 20 лет – 79,3% [27, 28]	29,5 [1**]	64,5 [1**]	до 10 лет – 29%; 11-20 лет – 42%; более 20 лет – 29% [34]	23,5 [34]	52,5 [34]
2007*	до 10 лет – 2,7%; 11-20 лет – 11,7%; более 20 лет – 85,6% [27, 28]	30,6 [1**]	63,0 [1**, 31]	до 10 лет – 34%; 11-20 лет – 44%; более 20 лет – 22% [34]	13,1 [33, 35, 39]	51,2 [34]
2008*	до 10 лет – 2,9%; 11-20 лет – 8,1%; более 20 лет – 89% [27, 28, 31]	31,2 [1**]	59,2 [1**, 31]	до 10 лет – 35%; 11-20 лет – 44%; более 20 лет – 21% [1**]	13,7 [33, 39]	51,0 [34]
2009	до 10 лет – 7%; 11-20 лет – 8,4%; более 20 лет – 84,6% [27, 28]	29,4 [1**]	55,9 [1**]	до 10 лет – 36%; 11-20 лет – 44%; более 20 лет – 20% [1**]	13,0 [33, 39]	50,6 [35]
2010*	до 10 лет – 9%; 11-20 лет – 12,5%; более 20 лет – 78,5% [27, 28]	29,4 [1**]	46,1 [1**]	до 10 лет – 37%; 11-20 лет – 44%; более 20 лет – 19% [40]	14,0 [33, 40]	50,3 [43]
2011	до 10 лет – 9,8%; 11-20 лет – 11,9%; более 20 лет – 78,3% [27, 28]	29,4 [1**]	45,9 [1**]	до 10 лет – 38%; 11-20 лет – 43%; более 20 лет – 19% [40]	13,0 [33, 40]	51,6 [43]
2012	до 10 лет – 11%; 11-20 лет – 12%; более 20 лет – 77% [27, 28]	29,4 [1**]	46 [1**]	до 10 лет – 40%; 11-20 лет – 40%; более 20 лет – 20% [40]	13,0 [33, 40]	52,6 [43]
2013	до 10 лет – 16,6%; 11-20 лет – 10,6%; более 20 лет – 72,8% [27, 28]	29,3 [1**]	46,1 [1**]	до 10 лет – 39%; 11-20 лет – 44%; более 20 лет – 17% [40]	13,0 [33, 40]	53,4 [43]





Продолжение Табл. 2.

2015	до 10 лет – 19,9%; 11–20 лет – 12,5%; более 20 лет – 67,6% [22, 27, 28, 32]	26,3 [***]	47,8 [***]	до 10 лет – 43%; 11–20 лет – 45%; более 20 лет – 12% [40]	12,0 [33, 40]	55,1 [43]
2016	до 10 лет – 24,3%; 11–20 лет – 12,9%; более 20 лет – 62,8% [27, 28]	25,8 [***]	50,2 [***]	до 10 лет – 43%; 11–20 лет – 41%; более 20 лет – 16% [41]	12,3 [33, 41]	56,8 [44]
2017*	до 10 лет – 28,7%; 11–20 лет – 13,3%; более 20 лет – 58% [27, 28]	25,5 [***]	52,9 [***]	до 10 лет – 45%; 11–20 лет – 40%; более 20 лет – 15% [41]	11,8 [33, 41]	58,5 [45]
2018	до 10 лет – 27,2%; 11–20 лет – 13,8%; более 20 лет – 59% [27, 28]	26,1 [***]	55,5 [***]	до 10 лет – 44%; 11–20 лет – 45%; более 20 лет – 11% [41]	10,2 [33, 41]	60,4 [46]
2019	до 10 лет – 26,9%; 11–20 лет – 13,9%; более 20 лет – 59,2% [27, 28]	27,4 [***]	58,8 [***]	до 10 лет – 46%; 11–20 лет – 42%; более 20 лет – 12% [41]	10,7 [33, 41]	60,7 [46]
2020	до 10 лет – 26,4%; 11–20 лет – 13,8%; более 20 лет – 59,8% [28]	27,6 [***]	59,7 [***]	до 10 лет – 48%; 11–20 лет – 41%; более 20 лет – 11% [41]	10,3 [33, 41]	62,2 [46]
2021	до 10 лет – 26,2%; 11–20 лет – 14%; более 20 лет – 59,8% [28]	28,7 [***]	60,9 [***]			61,9 [47]
2022	до 10 лет – 25,4%; 11–20 лет – 15,8%; более 20 лет – 58,8% [***]					

Примечание: [\*] – соответствует концептуальным и стратегическим документам, утвержденным до 2007 года и определяющим развитие РКП до 2015 г.; [\*\*\*] – оценка, полученная автором на основе запроса данных при мониторинге состояния предприятий и организаций РКП и данных исследований ФГУП «НПО «ТехноМаш», проведенных под руководством Чыслена Г.Б. до 2004 г.; [\*\*\*] – для промышленности России: в 1992–2006 гг. приведены данные для промышленного оборудования, в 2007–2021 гг. приведены данные для машин и оборудования; 2004\* – средний возраст оборудования по РКП в [29, 30] – 22 года, по [34] износ машин и оборудования крупных и средних коммерческих организаций промышленности России – 55,4%; 2006\* – средний возраст машин и оборудования по [33, 35, 39] – 14,4 лет; 2007\* – по [31] возрастной состав оборудования в 2008 г.: до 10 лет – 2,8% (больше на 0,1% по сравнению с 2007 г.), 11–20 лет – 8,2%; более 20 лет – 89%; 2010\* – для 2010–2021 гг. указан износ машин и оборудования обрабатывающих производств России; 2017\* – по [22, 32] доли оборудования: до 10 лет – 28,3%, 11–20 лет – 13,5%, более 20 лет – 57,2%.



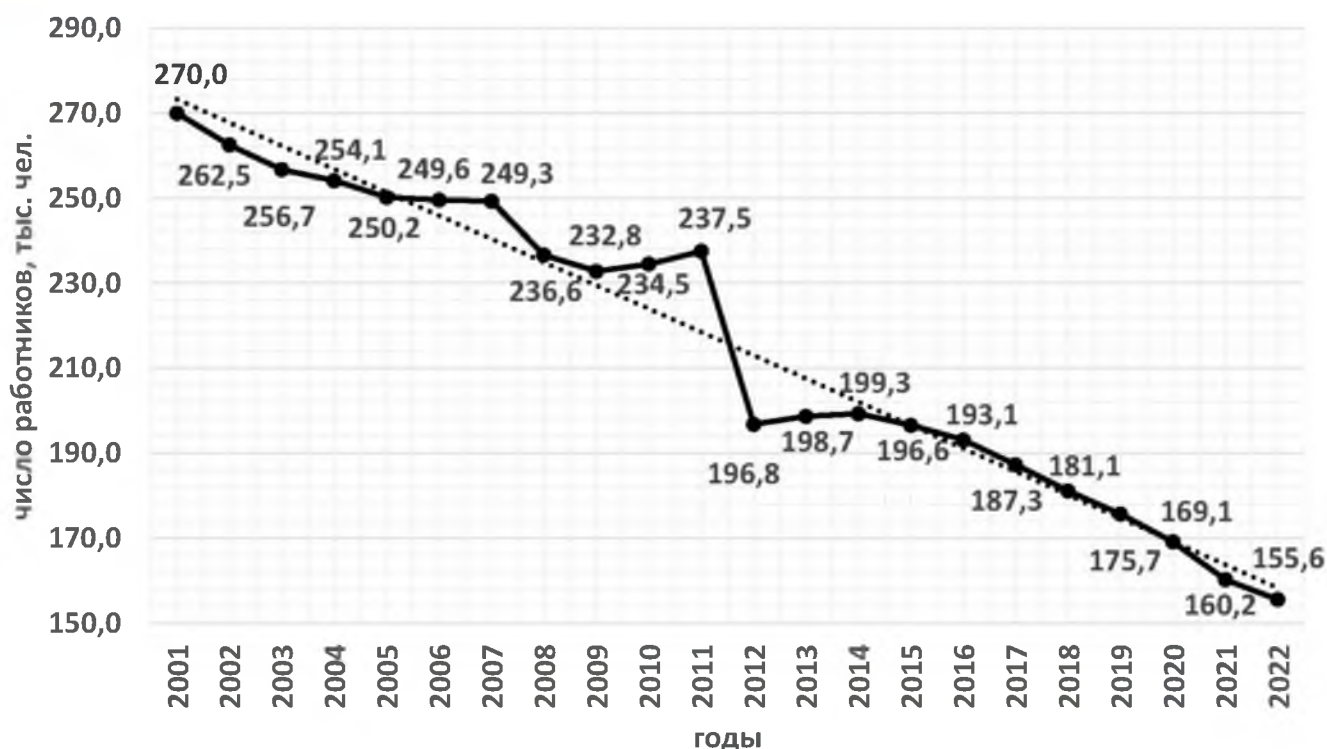


Рис. 1. Количество работников организаций и предприятий РКП (2001–2011 гг. – СОП1 РКП; 2012–2022 гг. – СОП2 РКП)

### Финансирование капитальных вложений, развитие АОФ и ОФ РКП

В [51] проведена классификация и дана характеристика этапов развития производственно-технологического потенциала РКП за весь период ее существования.

В период с 1966 по 1987 гг. включительно на начальной стадии становления и стадии интенсивной модернизации и развития производственно-технологического потенциала (ПТП) РКП капитальное строительство РКП финансировалось только за счет государственных бюджетных инвестиций, из которых 60% направлялись на строительство новых объектов (зданий и сооружений) РКП, 40% составляли реконструкция и техническое перевооружение (РиТП), ежегодное обновление АОФ составляло  $\approx 10\%$ .

В период плано-управляемого конверсионного переустройства ПТП РКП (1988–1991 гг.) среднегодовой объём капитальных вложений, осваиваемых в РКП, сократился более чем в два раза по сравнению с предыдущим периодом, доля объёмов нового строительства составила  $\approx 35\%$ , а доля РиТП –  $\approx 65\%$ , ежегодное обновление АОФ –  $\leq 8\%$ .

В период «заморозки» инвестиционного процесса (1992–1998 гг.), характеризующего избыточ-

ностью отраслевого ПТП, созданного в начале 1992 г., по отношению к объемам выполняемых работ по созданию и эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ), а также к объемам производимой предприятиями РКП продукции гражданского назначения, капитальные вложения практически не осуществлялись (почти девятикратное снижение объемов производства товарной продукции [52]), обновление АОФ практически не производилось, а среднегодовое выбытие устаревших АОФ реализовывалось на уровне  $0,5 \div 1\%$ .

В период 1999–2003 гг. на стадии «заморозки» бюджетного и возрождения коммерческого инвестиционного процесса отмечается устойчивый рост объемов работ почти на всех предприятиях РКП, отдельные предприятия и организации РКП, привлекаемые к выполнению коммерческих заказов, приобретали взамен устаревшего минимально необходимого нового оборудования для выполнения таких работ; объем государственных инвестиций в РКП в 2001 г. уменьшился в 19 раз по сравнению с инвестициями 1989 г. [15]. Вместе с тем объем ежегодных государственных инвестиций в 1999–2003 гг. монотонно растёт, однако в  $\approx 3$  раза



меньше требуемого. Практически линейно растут объемы ввода ОФ и АОФ (рис. 2а) – ежегодный коэффициент обновления АОФ монотонно растёт и в 2003 г. достигает значения 1,2% (рис. 3), что в два раза превышает аналогичный показатель АОФ РКП 1999 г. и в 15÷20 раз ниже общемировой практики развития наукоёмких производств [52]. Ежегодный коэффициент выбытия АОФ больше соответствующего, коэффициент обновления монотонно растёт от 0,9% в 1999 г. до 2,2% в 2003 г. (рис. 3).

Период 2004–2010 гг. – стадии «расшивки узких мест» и «возрождения» инвестиционного процесса по воспроизводству ПТП РКП и период 2011–2023 гг. – стадии «решения локальных задач» и строительства отдельных новых производств для РКТ характеризуются общим характером обновления ОФ для РКП и обрабатывающих производств России [43–48] (рис. 4),

за исключением периода 2009–2010 гг. после начала мирового экономического кризиса 2008 г.:

для РКП:

– в период 2004–2011 г. ежегодные коэффициенты обновления ОФ монотонно растут – от 1,4% в 2004 г. до 4,7% в 2011 г. (рис. 4);

– в период 2011–2014 гг. величина годового коэффициента обновления ОФ РКП стабилизируется на среднем уровне 4,6% (рис. 4);

– после валютного кризиса России 2014–2015 гг. (резкое ослабление российского рубля по отношению к иностранным валютам, вызванное снижением мировых цен на нефть, от экспорта которой сильно зависит доходная часть бюджета России, а также введением санкций западных иностранных государств в связи с событиями в Крыму) в период 2015–2022 гг. величина годового коэффициента обновления ОФ РКП стабилизируется на среднем уровне  $\approx 3\%$  (рис. 4);

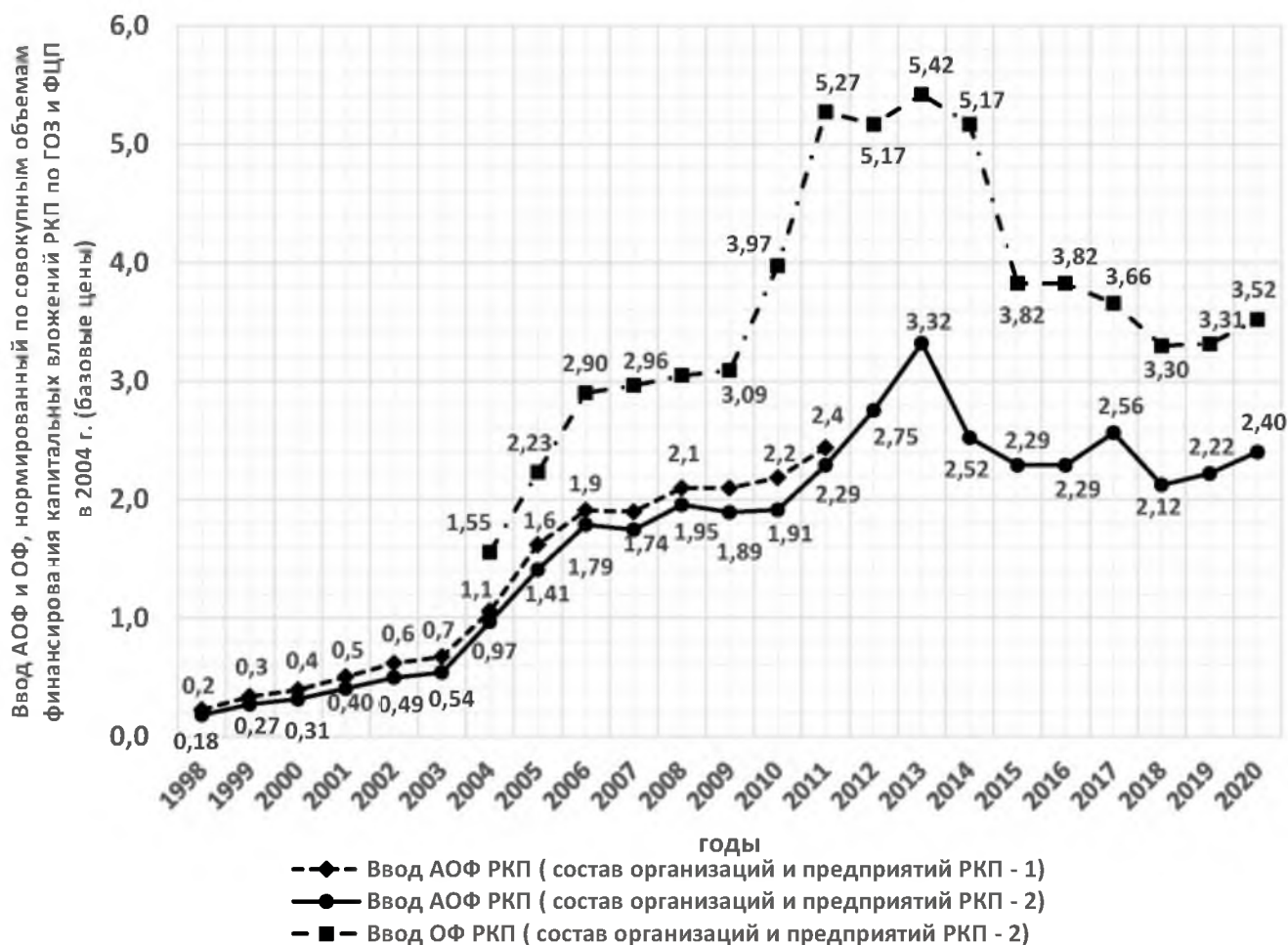


Рис. 2а. Объемы ввода основных фондов и темпы роста объемов финансирования:  
а) объемы ежегодного ввода основных фондов и активных основных фондов РКП;

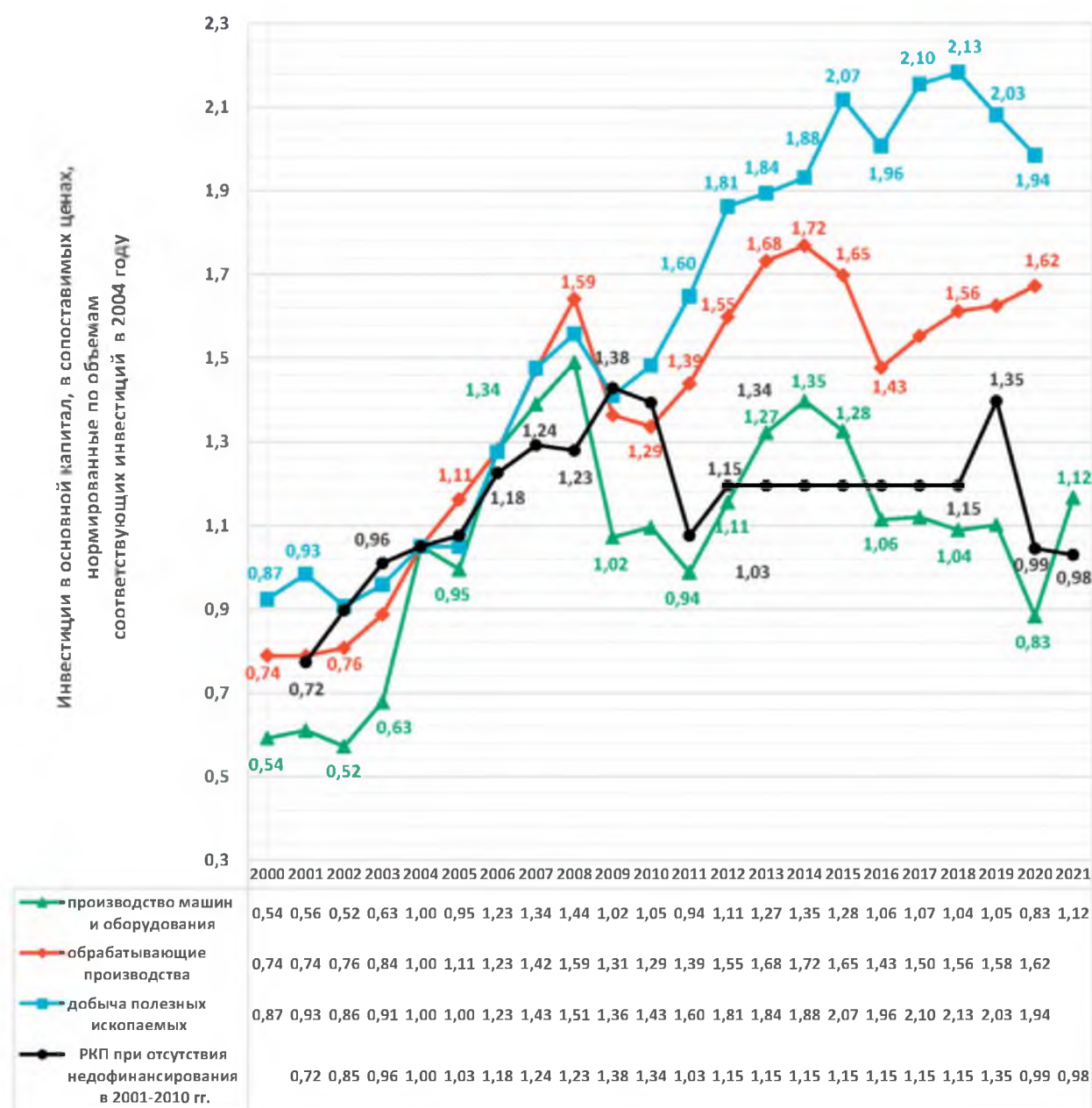


Рис. 26. Объемы ввода основных фондов и темпы роста объемов финансирования:  
б) темпы роста объемов финансирования капитальных вложений отраслей промышленности по отношению к 2004 г.

За период 2001–2010 гг. потребности РКП в бюджетных инвестициях на РИТП удовлетворены только на 49%. Компенсация недофинансирования РИТП указанного периода времени осуществлена в период 2012–2018 гг., где график изменения объемов финансирования имеет колоколообразный вид с максимумом, достигаемым в 2014 г. и превышающим в  $\approx 1,34$  раза среднегодовые объемы финансирования капитальных вло-

жений за период 2012–2018 гг. Этими обстоятельствами объясняются ярко выраженные «колокола роста» ежегодных коэффициентов обновления ОФ и АОФ РКП (рис. 3, 4), а также бурный рост абсолютной величины ввода АОФ на интервале времени 2011–2017 гг. Прослеживается явная прямая корреляция между вводом АОФ, ОФ и объемами финансирования капитальных вложений РКП (рис. 3–4).



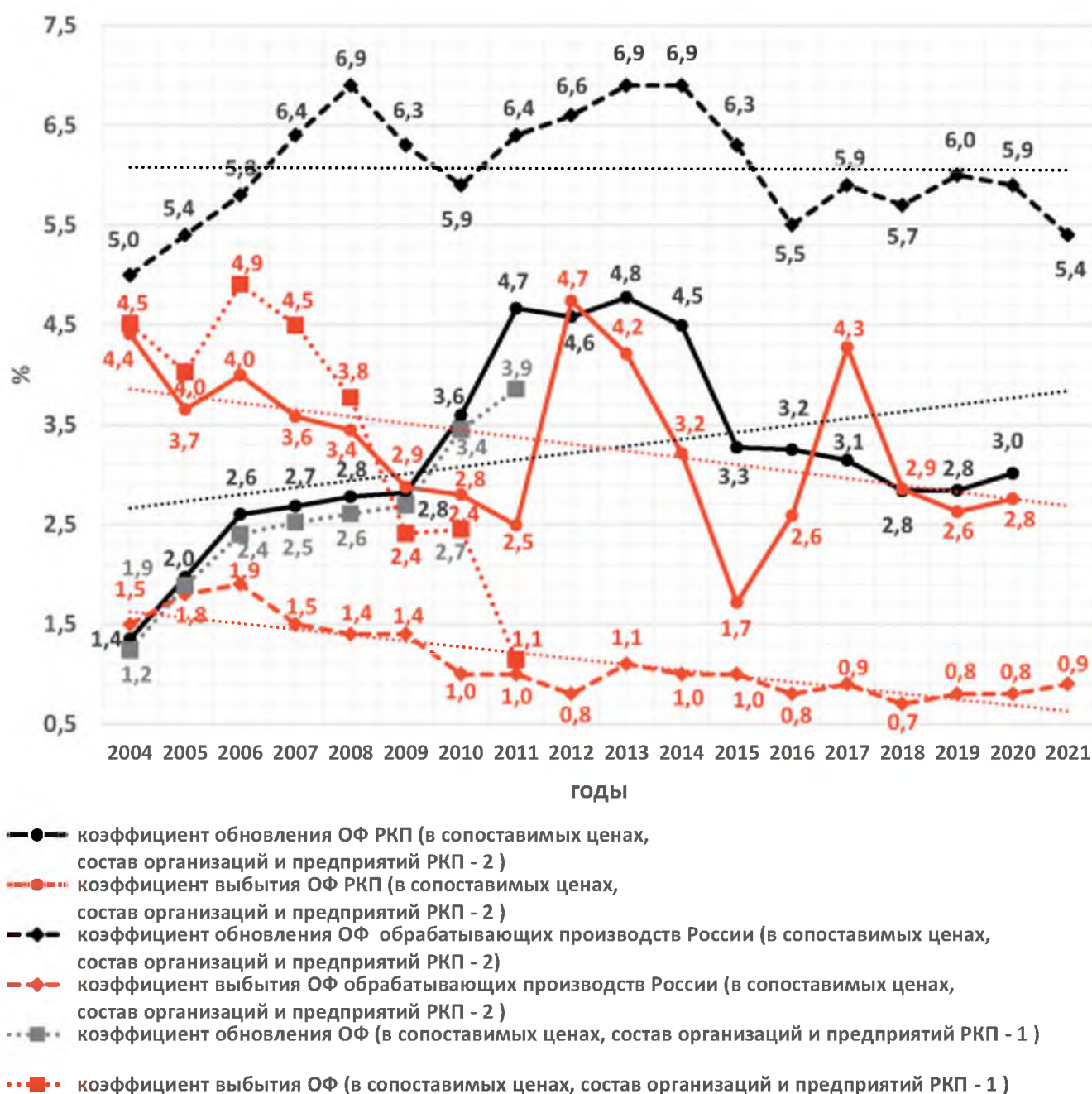


Рис. 3. Коэффициенты обновления и выбытия АОФ РКП в 1998–2020 г.

– в период 2004–2008 гг. ежегодные коэффициенты обновления АОФ практически монотонны – от 2,0% (СОП1 РКП) и 2,3% (СОП2 РКП) в 2004 г. до 4,2% (СОП1 РКП) и 4,9% (СОП2 РКП) в 2008 г. соответственно (рис. 3);

– в период 2008–2010 г. ежегодные коэффициенты обновления АОФ стабилизируются на среднем уровне  $\approx$  4,2% (СОП1 РКП) и 4,6% (СОП2 РКП) и в последующий период монотонно

растут, достигая максимума 7,7% (СОП2 РКП) в 2013 году (рис. 3);

– в период 2015–2022 г. величина годового коэффициента обновления АОФ РКП стабилизируется на среднем уровне  $\approx$  4,9% (рис. 3);

для обрабатывающих производств России:

– в период 2004–2008 гг. ежегодные коэффициенты обновления ОФ монотонно растут – от 5,0% в 2004 г. до 6,9% в 2008 г. (рис. 4).;



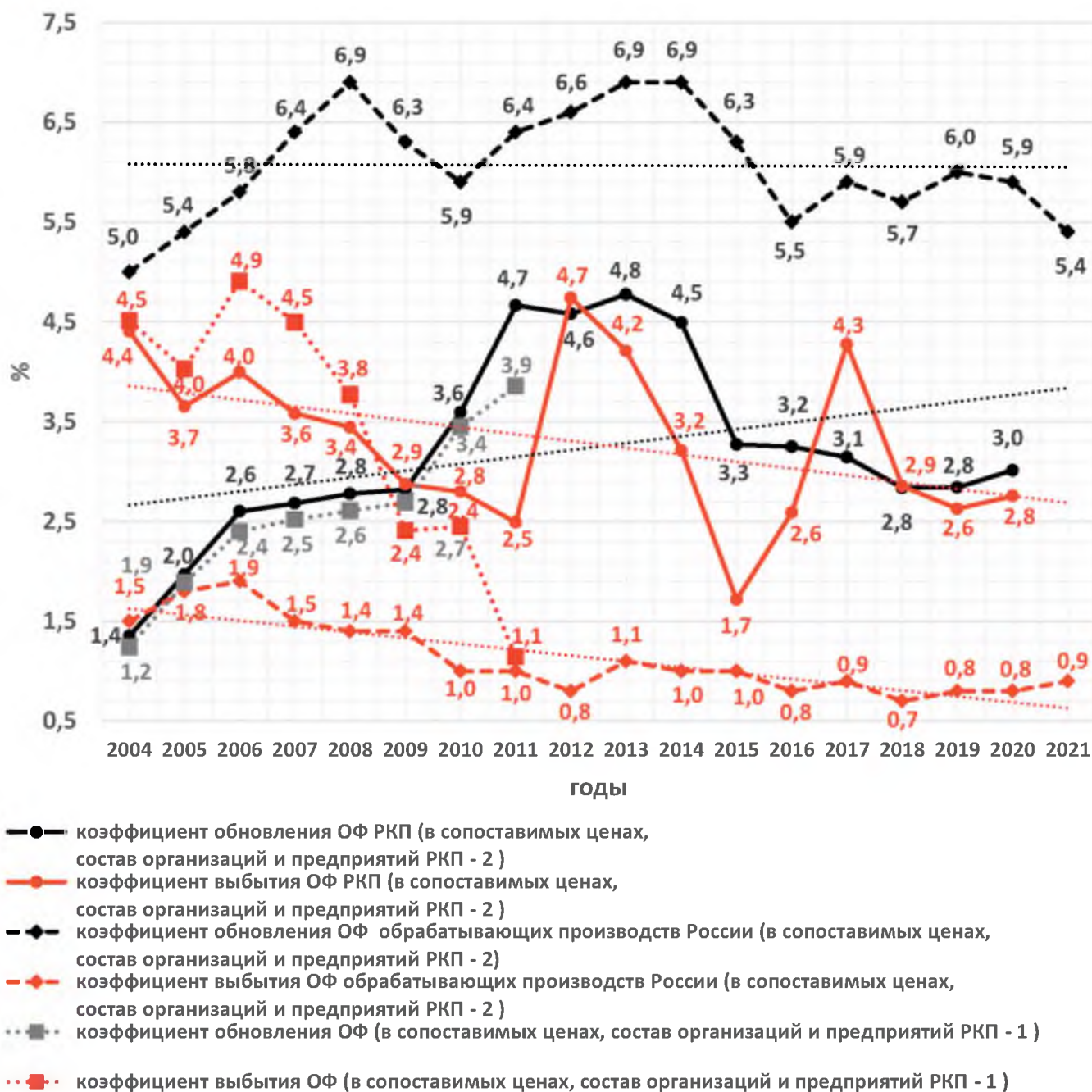


Рис. 4. Коэффициенты ежегодного обновления и выбытия ОФ РКП и обрабатывающих производств России

– в период 2008–2014 гг. величина годового коэффициента обновления ОФ имеет локальный минимум в 2010 г. – 5,9% и восстанавливается к 2014 г. до величины реализованной в 2008 г. – 6,9%;

– после валютного кризиса России 2014–2015 гг. в период 2015–2021 гг. годового коэффициента обновления ОФ стабилизируется на среднем уровне  $\approx 5,7\%$  (рис. 4).

Линия тренда значений ежегодных коэффициентов обновления ОФ обрабатывающих про-

изводств России (рис 4) показывает, что в период 2004–2021 гг. они практически не меняются и сохраняют постоянное среднее значение на уровне 5,8%. Коэффициенты обновления ОФ РКП в указанный период имеют тенденцию роста от 2,6% в 2004 г. до 3,8% в 2021 г. (рис.4 – нижняя чёрная пунктирная линия тренда). В период 2004–2021 гг. коэффициенты обновления ОФ РКП меньше коэффициентов обновления ОФ обрабатывающих производств России в  $1,6 \div 2,2$  раза.



На рис. 2б приведены темпы роста по отношению к 2004 г. объёмов финансирования в базовых ценах капитальных вложений отраслей промышленности России. Для РКП (рис. 2б) приведены соответствующие темпы роста объёмов финансирования капитальных вложений по отношению к 2004 г. для случая удовлетворения потребного финансирования в 2001–2010 гг. и равномерного финансирования (ежегодно постоянного в базовых ценах) в 2012–2018 гг., удовлетворяющие в базовых ценах условию равенства совокупных фактических объёмов финансирования капитальных вложений РКП за период 2001–2018 гг. совокупным объёмам финансирования капитальных вложений РКП за тот же период времени (рис. 2б). Видно качественное и количественное соответствие темпов развития объёмов инвестиций в машиностроении России и РКП, которые существенно ниже темпов роста инвестиций в целом по обрабатывающим производствам и добыче полезных ископаемых России.

Отношение объёмов ввода АОФ к объёмам ввода ОФ и отношение стоимости АОФ к стоимости ОФ стремятся к соотношению 2:3 (рис.5)

Линии тренда коэффициентов выбытия ОФ РКП и обрабатывающих производств России (верхняя и нижняя красные пунктирные прямые линии (рис.4) соответственно) практически параллельны и показывают снижение в 1,44 раза величины коэффициентов выбытия ОФ в 2021 г. по отношению к 2004 г. (рис. 4). Величина годовых коэффициентов выбытия ОФ РКП существенно выше годовых коэффициентов выбытия ОФ обрабатывающих производств России – в среднем в 2,44 раза больше в период 2004–2021 гг.

Реализация низких значений коэффициентов выбытия ОФ обрабатывающих производств России в период 2004–2021 гг. (в диапазоне величин от 0,7% до 1,9%, рис.4) сохраняется и соответствует традиционной общей ситуации интенсивности выбытия ОФ в отечественной промышленности в период 1970–2004 гг., где диапазон изменения годовых коэффициентов выбытия ОФ в различные годы – от 1% до 1,8% [34]. Для обрабатывающих производств России среднее превышение коэффициентов обновления ОФ над коэффициентами выбытия ОФ составляет более чем в 3,8 раза (рис. 4).

Поведение коэффициентов выбытия ОФ и АОФ РКП имеет также свои особенности:

– в период 2004–2008 гг., 2012 и 2017 гг. значения коэффициентов выбытия ОФ РКП превышают значения коэффициентов обновления ОФ РКП (в некоторые годы более чем в 2,0–3 раза) (рис.4), что приводит к соответствующему сокращению ОФ (рис. 6) и эффекту омоложения их возрастного состава;

– для АОФ РКП (рис. 3) в период 1998–2008 гг. коэффициенты выбытия АОФ больше коэффициентов обновления – АОФ по абсолютной величине сокращаются (рис.6); начиная с 2009 гг., коэффициенты выбытия АОФ меньше коэффициентов обновления – АОФ по абсолютной величине растут (рис. 6).

Для сравнения с данными, представленными для ОФ РКП (рис. 6), в табл. 3 приведены данные по росту ОФ в сопоставимых ценах обрабатывающих производств России (в % к 2004 году), рассчитанные на основании данных Российских статистических сборников за 2010, 2016–2022 гг., в том числе [43–48].

**Таблица 3. Движение ОФ обрабатывающих производств России**

Движение ОФ в сопоставимых ценах обрабатывающих производств России в 2004–2012 гг. (в % к 2004 г.)									
годы	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
% роста	100	103,7	107,6	112,1	118,0	124,7	131,0	138,2	145,8
Движение ОФ в сопоставимых ценах обрабатывающих производств России в 2013–2021 гг. (в % к 2004 г.)									
годы	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
% роста	154,2	163,8	174,7	184,7	191,7	202,1	212,8	224,7	237,1

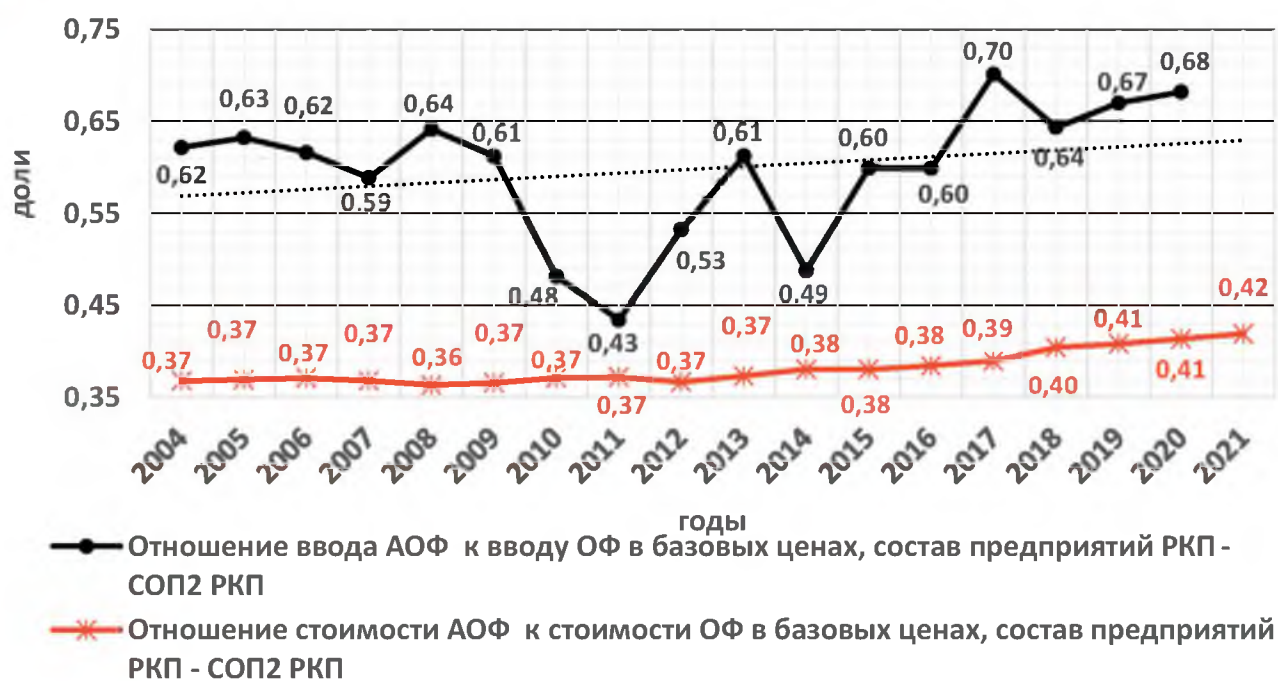


Рис. 5. По РКП отношение объемов ввода АОФ к объемам ввода ОФ и отношение стоимости АОФ к стоимости ОФ, базовые цены

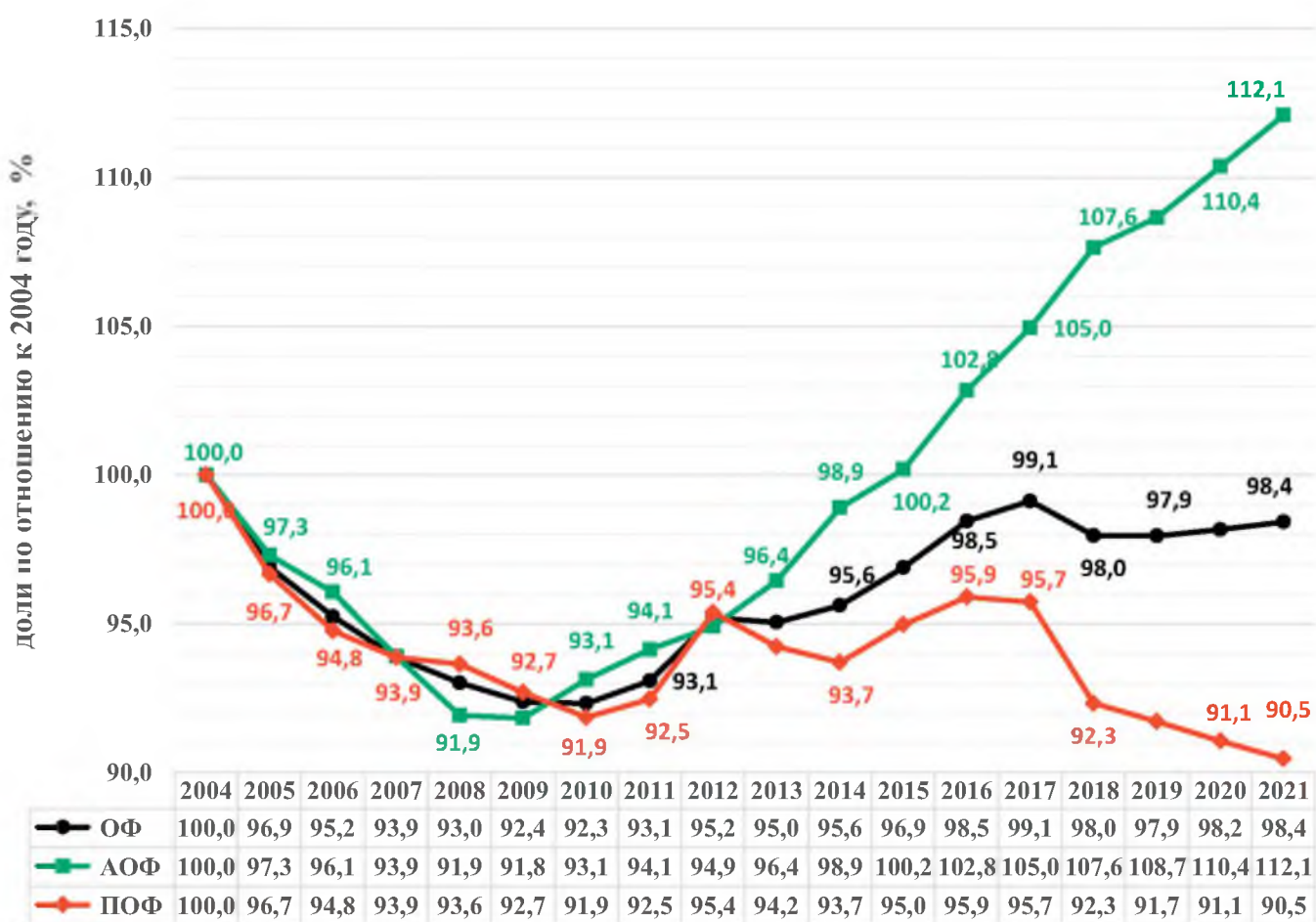


Рис.6. СОП2 РКП – движение АОФ, ПОФ и ОФ РКП для 2004–2021 гг., в % к 2004 г. (характеристики приведены на начало года в базовых ценах)



### Износ, средний возраст оборудования РКП и промышленности России в целом

Практически полное отсутствие технического перевооружения и закупки нового оборудования, слабая динамика выбытия АОФ – на уровне  $0,5 \div 1\%$  в РКП в период 1992–1998 гг. привели к быстрому повышению степени износа и высокому абсолютному уровню износа [25] (рис. 7). Аналогичная ситуация прослеживается по промышленности России [42] (рис. 7) – износ оборудования в 1998 г. увеличился на 11,9% по отношению к износу оборудования в 1992 г. (табл. 2, столбец 7). Отметим, что в указанный период 1992–1998 гг. износ оборудования РКП ниже на  $2 \div 5\%$  износа оборудования в целом по промышленности России. Аналогичная ситуация с износом оборудования РКП прослеживается в 2010–2022 гг., когда в различные годы износ оборудования РКП составлял ниже на  $1 \div 8\%$  износа машин и оборудования в целом по промышленности России (максимальное различие в величине износа в 2014 г.), 8% начинает с увеличением годов монотонно сокращаться до 1% в 2021 г. С 2010 по 2014 гг. разница между величиной из-

носа машин и оборудования промышленности России и оборудования РКП монотонно растет от 4,2% до 8%.

В 1999 г. износы оборудования РКП – 65% и машин и оборудования промышленности России – 65,8% практически одинаковы. В период 2000–2009 гг. износ оборудования РКП – выше износа машин и оборудования промышленности России.

«...После финансового кризиса 1998 г. и вызванного им усиления тенденции к импортозамещению...» [34] и тенденции к увеличению производства отечественных товаров существенно оживилась в последующие годы инвестиционная политика государства, организаций и предприятий России (средняя величина ежегодных коэффициентов обновления ОФ обрабатывающих производств России в период 2004–2010 гг. составила  $\approx 6\%$ , рис. 4). В период 1998–2010 гг. износ оборудования ежегодно монотонно уменьшается, за исключением незначительного локального всплеска в 2002 г., и в целом за период общее сокращение износа составило 17,9%. В 2010 г. достигнуто минимальное

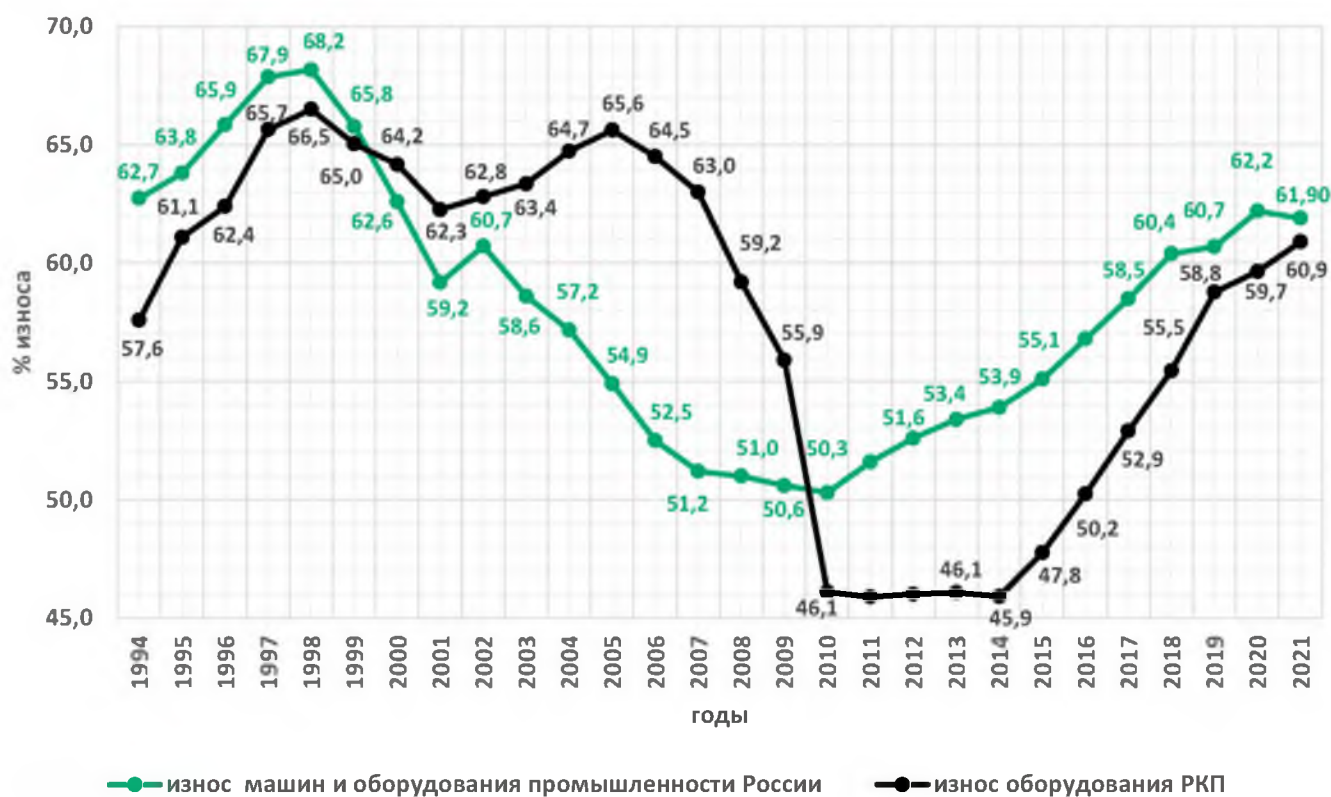


Рис. 7. Степень износа оборудования РКП. Для промышленности России [42–47, 34, 35]: в 1994–2006 гг. – степень износа оборудования, в 2007–2021 гг. – степень износа машин и оборудования



значение износа машин и оборудования обрабатывающих производств России за период 1992–2021 гг. – 50,3% (рис. 7). Аналогичная ситуация наблюдается и с оборудованием РКП в периоды 1998–2001 гг. и 2005–2010 гг. В 2010 г. достигается минимальное значение износа оборудования РКП – ≈ 46%, которое в период 2010–2014 гг. сохраняется на постоянном уровне.

В период 2001–2005 гг. износ оборудования РКП монотонно растет и в целом его увеличение составляет 3,3% (рис. 7). Организации и предприятия меньше выводят из эксплуатации дорогостоящее старое оборудование, в том числе импортное, имеющее большой износ, проводя его ремонт и восстановление, поскольку выделяемые объемы финансирования на капитальные вложения ниже требуемых в 2,2÷2,7 раза (рис. 2). Производственно-технологический потенциал РКП в этот период существенно переразмерен по отношению к объемам выполняемых работ и не загружен в полном объеме (рис 8).

Как следствие, организации и предприятия выводят из эксплуатации неостребованное малопродуктивное оборудование с относительно небольшими сроками эксплуатации. В результате в период 2001–2005 гг. реализуется эффект повышения износа оборудования РКП.

Несмотря на относительно удовлетворительные величины годовых коэффициентов обновления ОФ обрабатывающих производств России (за период 2011–2015 гг. среднее значение – ≈ 6%, за период 2016–2021 гг. среднее значение – ≈ 5,7%, рис. 4), после мирового экономического

кризиса 2008 г., с учетом валютного кризиса России 2014–2015 гг., практически ежегодного введения новых санкций западных иностранных государств в связи с событиями в Крыму и в целом на Украине в период 2010–2021 гг. практически ежегодно происходит увеличение износа машин и оборудования (рис. 7). Аналогичные процессы реализуются и с оборудованием РКП – после периода стабилизации износа на уровне 46% в 2010–2014 гг. в период 2014–2021 гг. происходит ежегодное увеличение износа оборудования РКП, в целом за 2015–2021 гг. рост износа составил 15% (по отношению к 2014 г.) (рис 7). Основные причины роста износа оборудования РКП, машин и оборудования промышленности России: организации и предприятия меньше выводят из эксплуатации дорогостоящее старое оборудование, в том числе импортное, осуществляя его ремонт и восстановление. Кроме того, приобретается новое высокопроизводительное технологическое оборудование взамен устаревшего малопродуктивного с относительно небольшими сроками эксплуатации.

Средний возраст оборудования РКП монотонно растет:

- в период 1980–2008 гг. от 9,5 лет до 31,2 года, достигая своего максимума за период 1980–2021 гг.;
- в период 2017–2021 гг. от 25,5 лет до 28,7 лет.

Практически монотонное уменьшение среднего возраста оборудования РКП наблюдается в период 2008–2017 гг. от 31,2 лет до 25,5 лет – в целом за период на 5,7 лет, когда среднегодовой

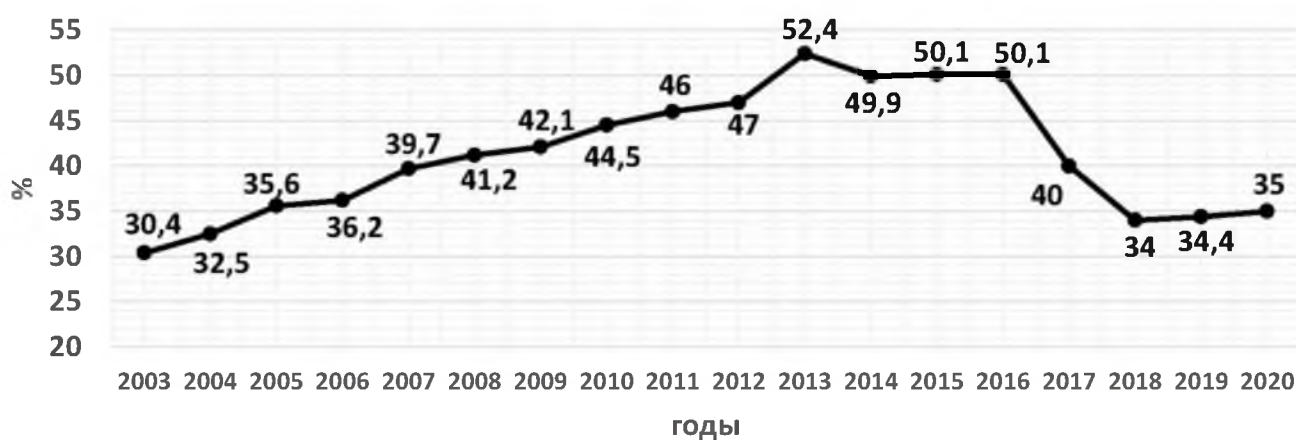


Рис. 8. Загрузка производственных мощностей РКП (при двухсменном режиме работы; табл. 1. столбец 6)

коэффициент обновления АОФ составляет 5,5% (рис.3), среднегодовой коэффициент выбытия АОФ – 4% (рис.3), а износ меньше 55% (рис. 7).

Общие тенденции роста среднего возраста оборудования РКП и среднего возраста производственного оборудования промышленности России в период 1980–2006 гг. совпадают, а величины их средних возрастов коррелируют (рис. 9). В период 2007–2021 гг. наблюдается прямая корреляция средних возрастов оборудования РКП и машин и оборудования обрабатывающих производств России, а также тенденция к снижению их среднего возраста. С учетом скачка в 10 лет в определении величины среднего возраста оборудования и среднего возраста машин и оборудования промышленности России, связанного с изменением методики подсчета статистических данных [34, 38, 40], можно прогнозировать, что реальный средний возраст производственного оборудования промышленности России после 2020 г. составля-

ет более 20 лет, что на 8 лет ниже аналогичного показателя для оборудования РКП.

Большое разнообразие АОФ, входящих в состав РКП, обуславливает широкий диапазон сроков их нормативной службы. Для РКП, ПТП которой относится к высокотехнологичному, в целях объективной оценки АОФ соответствия современному уровню усреднённые сроки службы АОФ могут оцениваться на уровне 10 лет [50]. Например, устанавливаемый срок службы испытательного оборудования и установок, как правило, составляет 10 лет [53]. С учетом того, что средняя загрузка оборудования РКП (рис. 7) за десятилетний период 2012–2021 гг. составляет 43,7%, а средняя загрузка за период 2003–2011 гг. – 38,5%, то допустимый средний срок эксплуатации оборудования РКП будет 23÷26 лет, что почти на 3 года ниже реализуемого в 2021 г.

Требуется проведение дальнейшего ускоренного технического перевооружения РКП.

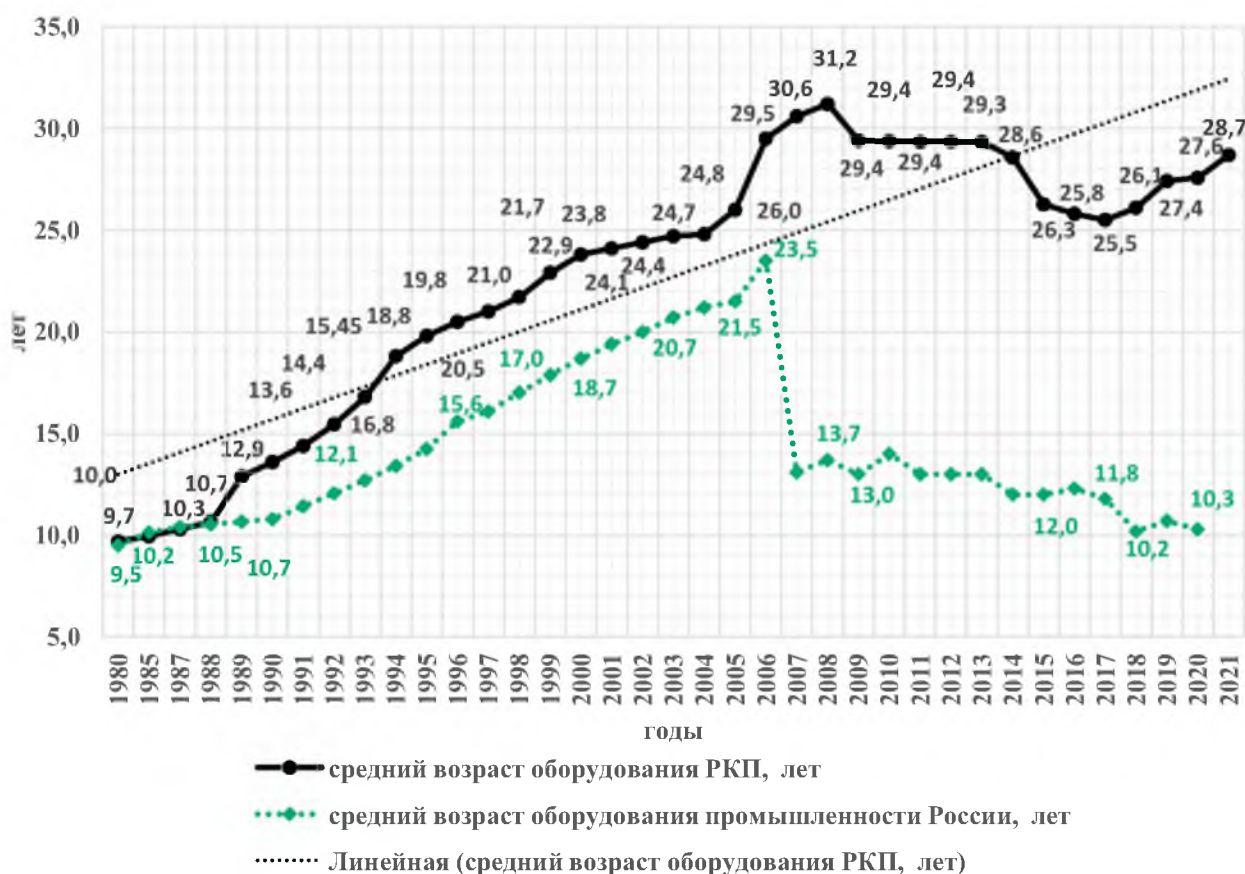


Рис.9. Средний возраст оборудования РКП. Для промышленности России [33–41]: в 1994–2006 гг. – средний возраст производственного оборудования [33–38], в 2007–2021 гг. – средний возраст машин и оборудования [33,35,39–41] добывающих, обрабатывающих производств, производства и распределения электроэнергии, газа, воды

### Заключение

В сопоставимых ценах в 1998–2022 гг. рассмотрены особенности финансирования капитальных вложений РКП, совокупно осуществляемых в рамках государственного оборонного заказа, федеральных целевых и государственных программ.

Для РКП в сопоставимых ценах определены коэффициенты обновления и выбытия основных фондов, в том числе активных основных фондов, РКП для периода времени 1998–2020 гг. Для коэффициентов обновления и выбытия основных фондов РКП проведён сопоставительный анализ их развития с соответствующими коэффициентами обрабатывающих производств России.

Для периода времени 2004–2021 гг. определено по отношению к 2004 г. развитие основных фондов РКП, в том числе активных и пассивных основных фондов РКП. Показано качественное отличие развития ОФ РКП от ОФ обрабатывающих производств России: в сопоставимых ценах ОФ обрабатывающих производств России:

- с 2004 г. ежегодно монотонно растут с темпом  $\approx 5\%$  к предыдущему году,
- в 2021 г. больше в  $\approx 2,4$  раза по сравнению с 2004 г.;

в сопоставимых ценах ОФ РКП:

- в период 2004–2010 гг. монотонно уменьшаются (в целом за период на  $7,7\%$ ),

- в период 2011–2021 гг. практически ежегодно растут (за исключением 2017 г.) и в 2021 г. практически восстанавливаются до величины 2004 г.

Для РКП в период 2004–2021 гг. соотношения объемов ввода АОФ к объемам ввода ОФ и стоимости АОФ к стоимости ОФ –  $\approx 2:3$ .

Для РКП впервые проведена систематизация статистических данных, проведен анализ и объяснены особенности:

- загрузки производственных мощностей – 1991–2020 гг.,
- среднего возраста оборудования – 1980–2021 гг.;
- износа оборудования – 1994–2025 гг.

Проведена систематизация статистических данных численности работников РКП для периода 1987–2022 гг.

Определены характерные особенности влияния интенсивности обновления и выбытия активных основных фондов на средний возраст, износ оборудования РКП.

Впервые проведен сопоставительный анализ развития среднего возраста и износа оборудования РКП с оборудованием промышленности России с учетом особенностей имеющихся статистических данных для промышленности России.

### Библиографический список

1. О разработке прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 1999 год. (Основные положения сценарных условий развития и макроэкономические параметры) // ГА РФ, фонд 10128, он. 1, дело 2711. – 1998. – №КГ-25. – С. 78–95.
2. Таблица индексов дефляторов. (1997–2006 гг.). Государственные капитальные вложения. Приложение 3 к исх. №19897-ВС/Д17 от 25.11.2004. – URL: [https://fcp.economy.gov.ru/npd/app2004\\_3.htm](https://fcp.economy.gov.ru/npd/app2004_3.htm) (дата обращения: 10.05.2023). – Текст: электронный.
3. Письмо Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации. О разработке уточненного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2001 год и параметров прогноза до 2003 года. – 07.09.2000. № ИМ-598/09. – 8 с. – URL: <https://base.garant.ru/70506234/> (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.
4. Основные показатели, представляемые для разработки прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2004 год и на период до 2006 г. – URL: <https://www.google.ru/m?q=%D0%B4%D0%B5%D1%8B%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B+%D0%B3%D0%BE%D0%B7+2004+%D0%B3%D0%BE%D0%B4&client=ms-opera-mobile&channel=new&espv=1> (дата обращения: 02.05.2023). – Текст: электронный.
5. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О разработке уточненного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2009 год и параметров



прогноза на период до 2011 года.– 03.09.2008. № 12292-СВ/Д03. – 8 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293816/4293816455.htm/> (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

6. Письмо Минэкономразвития России от 16.10.2015. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу.– 16.10.2015. № 29635-АВ/Д03и – 18 с. – URL: [https://rulaws.ru/acts/Pismo-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-16.10.2015-N-29635-AV\\_D03i/](https://rulaws.ru/acts/Pismo-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-16.10.2015-N-29635-AV_D03i/) (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

7. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, 25.11.2016, № 36144-АВ/Д03и – 7 с. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71465346/> (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

8. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, 05.10.2017, № 28216-АТ/Д03и – 14 с. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71694624/> (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

9. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, 03.10.2018, № 28438-АТ/Д03и – 7 с. – URL: [https://rulaws.ru/acts/Pismo-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-03.10.2018-N-28438-АТ\\_Д03и/](https://rulaws.ru/acts/Pismo-Minekonomrazvitiya-Rossii-ot-03.10.2018-N-28438-A_T_D03i/) (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

10. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу. – 01.10.2019. № 33198-ПБ/Д03и – 7 с. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/pismo\\_minekonomrazvitiya\\_rossii\\_ot\\_1\\_oktyabrya\\_2019\\_g\\_33198\\_pbd03i.html](https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/pismo_minekonomrazvitiya_rossii_ot_1_oktyabrya_2019_g_33198_pbd03i.html) (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

11. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу.– 30.09.2020, № 32028-ПК/Д03и – 6 с. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/pismo\\_minekonomrazvitiya\\_rossii\\_ot\\_30\\_sentyabrya\\_2020\\_g\\_32028\\_pkd03i.html](https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/pismo_minekonomrazvitiya_rossii_ot_30_sentyabrya_2020_g_32028_pkd03i.html) (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

12. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, 05.10.2021, № 33918-ПК/Д03и, – 6 с. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy\\_socialno\\_ekonomicheskogo\\_razvitiya/pismo\\_minekonomrazvitiya\\_rossii\\_33918\\_pkd03i\\_ot\\_5\\_oktyabrya\\_2021.html](https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/pismo_minekonomrazvitiya_rossii_33918_pkd03i_ot_5_oktyabrya_2021.html) (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

13. Письмо Министерства экономического развития Российской Федерации. О применении показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации в целях ценообразования на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, 28.09.2022, № 36804-ПК/Д03и – 6 с. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy\\_socialno\\_ekonomicheskogo\\_razvitiya/pismo\\_minekonomrazvitiya\\_rossii\\_36804\\_pkd03i\\_ot\\_28\\_sentyabrya\\_2022.html](https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/pismo_minekonomrazvitiya_rossii_36804_pkd03i_ot_28_sentyabrya_2022.html) (дата обращения: 16.10.2023). – Текст: электронный.

14. Баранов Э.Ф. Об измерении индексов-дефляторов по отраслям экономики и промышленности // Экономический журнал ВШЭ. – 2002. – №2. – С. 217–224.

15. Маринин И. Круглый стол по проблемам российской космонавтики // Новости космонавтики. – 2003. – № 2(241). Том 13. – С. 28–45.

16. Национальная космическая отрасль России. – 2007. – URL: <https://lektisia.com/15xb4ef.html> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.



17. Макаров Ю.Н., Хрусталева Е.Ю. Финансово-экономический анализ ракетно-космической промышленности России // Аудит и финансовый анализ. – 2010. – № 2. – 12 с.
18. Бауэр В.П., Ковков Дж.В., Московский А.М., Сенчагов В.К. Состояние и механизмы развития ракетно-космической промышленности России. – М.: Институт экономики РАН, 2012. – 53 с.
19. Итоговый доклад Федерального космического агентства об основных итогах развития космической деятельности в 2014 году, задачах Федерального космического агентства и организаций ракетно-космической промышленности на 2015 год и дальнейшую перспективу. – 2015. – URL: [https://www.polpred.com/?ns=1&ns\\_id=1349732](https://www.polpred.com/?ns=1&ns_id=1349732) (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.
20. Годовой отчет Госкорпорации Роскосмос – 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 – URL: <https://www.roscosmos.ru/22444/> (дата обращения: 15.05.2023). – Текст: электронный.
21. Ракетно-космическая промышленность России (РКП России) – отрасль российского машиностроения. – 2017. – URL: [http://newsruss.ru/doc/index.php/%D0%A0%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%B%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8](http://newsruss.ru/doc/index.php/%D0%A0%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%B%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8) (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.
22. ОПК России: итоги 2017 г. – 2018. – URL: <https://nasha-strana.info/archives/27232> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.
23. Первый заместитель генерального директора Роскосмоса: наращивание спутниковой группировки приоритет номер один – 2023. – URL: <https://interfax.ru/turbopages.org/turbo/interfax.ru/s/russia/894837> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.
24. Яныгин В.Ю. Современные проблемы и перспективы ракетно-космической промышленности России // Национальная безопасность / nota bene. – 2019. – № 2. DOI: 10.7256/2454-0668.2019.2.12363 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_artide.php?id=12363](https://nbpublish.com/library_read_artide.php?id=12363).
25. Рогозин: предприятия ракетно-космической отрасли загружены наполовину – 2019. – URL: [https://aif-ru.turbopages.org/turbo/aif.ru/s/money/company/rogozin\\_predpriyatiya\\_raketno-kosmicheskoy\\_otrasli\\_zagruzheny\\_napolovinu](https://aif-ru.turbopages.org/turbo/aif.ru/s/money/company/rogozin_predpriyatiya_raketno-kosmicheskoy_otrasli_zagruzheny_napolovinu) (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный; Рогозин рассказал о загруженности ведущих предприятий Роскосмоса. – РИА Новости, 03.03.2020 – 2020. – URL: <https://ria.ru/20190801/1557078732.html> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.
26. Рахмилевич Е.Г. Проблемы и пути совершенствования проведения технологического аудита на предприятиях ракетно-космической промышленности // Форум технологического лидерства России Технодоктрина. – 2014. – URL: [https://vpk.name/news/124044\\_problemy\\_i\\_puti\\_sovershenstvovaniya\\_provedeniya\\_tehnologicheskogo\\_audita\\_na\\_predpriyatiyah\\_raketno-kosmicheskoi\\_promyshlennosti.html](https://vpk.name/news/124044_problemy_i_puti_sovershenstvovaniya_provedeniya_tehnologicheskogo_audita_na_predpriyatiyah_raketno-kosmicheskoi_promyshlennosti.html) (дата обращения: 12.10.2022). – Текст: электронный.
27. Кондратенко А.Н. Оценка состояния и приоритетные направления развития ракетно-космической промышленности // Вестник НПО Техномаш. – 2020. – № 2. – С. 21–32.
28. Кондратенко А.Н. Развитие основных фондов ракетно-космической промышленности // Вестник НПО Техномаш. – 2022. – № 2(19). – С. 56–67.
29. Бойко А.А., Рыбакова Е.С. Роль лизинга в обновлении основных производственных фондов предприятий ракетно-космической промышленности // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. – 2011. – С. 182–188.
30. Промышленность России 2005: Статистический сборник/ Росстат. – М., 2006. – 460 с.
31. Макаров Ю.Н., Хрусталева Е.Ю. Финансово-экономический анализ ракетно-космической промышленности России // Аудит и финансовый анализ. – 2010. – № 2. – 12 с.
32. Тестоедов Н.А. Россия способна решить любые космические задачи // Вестник ГЛОНАСС. – 2015. – № 1(22). – URL: <http://vestnik-glonass.ru/stati/rossiya-sposobna-reshit-lyubye-kosmicheskie-zadachi/> (дата обращения: 22.11.2022). – Текст: электронный.



33. Анализ опасностей и Оценка техногенного Риска. Тематические подборки статей и материалов. Белая книга России: сер. XX – нач. XXI вв. Белая книга России: Строительство, перестройка и реформы: 1950–2013–2021 гг. 2022. – URL: <http://riskprom.ru/publ/43-1-0-440> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный.
34. Алексеев А.В., Кузнецова Н.Н. Российский производственный аппарат: вчера по три, но очень большой, а сегодня по пять, но маленький? // ЭКО. – 2010. – № 3. – С. 15–36. – № 4. – С. 22–32
35. Модернизация российской экономики: структурный потенциал/ Ответственный редактор – Иванова Н.И., научный руководитель – Куренков Ю.В. – М.: ИМЭМО РАН, 2010. – 228 с.
36. Российский статистический ежегодник/Госкомстат России. – М., 2001. – 679 с.
37. Промышленность России 2002: Статистический сборник/Госкомстат России. – М., 2002. – 453 с.
38. Промышленность России 2005: Статистический сборник/Росстат. – М., 2006. – 460 с.
39. Основные средства организаций промышленности России – 2010. – URL: <http://newsruss.ru/doc/index.php/> (дата обращения: 10.03.2023). – Текст: электронный.
40. Промышленное производство в России. 2016: Статистический сборник. – П 81 М., 2016. – 347 с.
41. Промышленное производство в России. 2021: Статистический сборник. – П 81 М., 2021. – 305 с.
42. Воскобойников И.Б., Дрябина Е.В. Историческая статистика основных фондов Российской промышленности в 1970–2004 гг. // Вопросы статистики. – 2010. – № 3. – С. 28–45.
43. Российский статистический ежегодник. 2016: Статистический сборник/Росстат. – Р76 М., 2016. – 725 с.
44. Российский статистический ежегодник. 2017: Статистический сборник/Росстат. – Р76 М., 2017. – 686 с.
45. Российский статистический ежегодник. 2018: Статистический сборник/Росстат. – Р76 М., 2018. – 694 с.
46. Российский статистический ежегодник. 2021: Статистический сборник/Росстат. – Р76 М., 2021. – 692 с.
47. Российский статистический ежегодник. 2022: Статистический сборник/Росстат. – Р76 М., 2022. – 691 с.
48. Российский статистический ежегодник. 2010: Статистический сборник/Росстат. – Р76 М., 2010. – 813 с.
49. Куликова Л.И. История проведения переоценок основных средств в России: накопленный опыт, результаты и сюрпризы // Учет. Анализ. Аудит. – 2016. – № 3. – С. 129–141.
50. Кондратенко А.Н. Этапы развития производственно-технологического потенциала и учет основных фондов ракетно-космической промышленности // Вестник НПО Техномаш. – 2022. – № 2(19). – С. 43–56.
51. Кондратенко А.Н., Кондратенко Н.А. Особенности переоценок основных фондов // Материалы 57 Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развития идей К.Э. Циолковского. – Калуга: Наша Полиграфия, 2022. – С. 375–378.
52. Фролов И.Э. Потенциал развития наукоемкого, высокотехнологичного сектора российской промышленности – 2003. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-razvitiya-naukoemkogo-vysokotehnologichnogo-sektora-rossiyskoj-promyshlennosti> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст: электронный.
53. Кондратенко А.Н. Концептуальные вопросы развития производственно-испытательной базы ракетно-космической промышленности // Вестник НПО Техномаш. – 2022. – № 4(21). – С. 55–69.
54. Космическая промышленность России – Space industry of Russia – 2014. – URL: [https://wiki5.ru/wiki/Space\\_industry\\_of\\_Russia](https://wiki5.ru/wiki/Space_industry_of_Russia) (дата обращения: 10.04.2023). – Текст: электронный.

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

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

УДК 658.51

*Богданец А.В., Вайцехович С.М., Должанский Ю.М., Захаров М.А., Кочергин С.А.,  
Макаров А.С., Петров М.С., Пушкарев С.А., Семенов В.В.  
Bogdanets A.V., Vaitsekhovich S.M., Dolzhanskii Yu.M., Zakharov M.A., Kochergin S.A.,  
Makarov A.S., Petrov M.S., Pushkarev S.A., Semenov V.V.*

**Технологии и специальное оборудование,  
разработанные и паспортизированные  
АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в 2023 г.  
(часть 1)**

**Technologies and special equipment  
developed and certified by  
JSC «Afanasev «NPO «Technomac» in 2023.  
(Part 1)**

Представлены результаты паспортизации в 2023 г. отраслевых технологий и специального технологического оборудования для базы данных и знаний АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»: технологии получения сильфонов со спирально-профильными гофрами на прокатно-волочильных станах, специальном станке для изготовления из ПКМ пространственных криволинейных труб, перспективных теплообменных устройствах, сепараторах для эффективной очистки газофазных рабочих сред.

Certification results in 2023 of industry technologies and special process equipment for the database and knowledge base of JSC «Afanasev «NPO «Technomac» are presented: technology for production of bellows with spiral-profile corrugations on rolling mills, special machine for manufacturing of spatial curved pipes from PCM, promising heat-exchange devices, separators for effective purification of gas-phase working media.

**Ключевые слова:** сильфоны, спирально-профильные трубы, теплообменные устройства, сепараторы, намотка пространственных криволинейных труб, база данных, база знаний.

**Keywords:** bellows, spiral-profile pipes, heat-exchange devices, separators, spatial curvilinear pipe winding, database, knowledge base.

В 2023 году фонд перспективных отраслевых технологий и специального технологического оборудования, поддерживаемый АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева» в рамках формирования отраслевой базы данных и знаний, пополнился ещё 11 позициями (табл. 1).

Основная техническая информация выборки паспортов, касающихся технологий изготовления и использования сильфонов и специальных устройств на базе спирально-профильных труб, приведена ниже.

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 278/23**

Сильфоны со спирально-профильными гофрами и технология их получения на прокатно-волочильных станах (опережающий задел)

Одним из существенных недостатков традиционных сильфонных элементов конструкций разного назначения (рис. 1) является склонность к образованию в вершинах их гофров разного рода отложений, приводящих со временем к снижению

упругих и механических свойств материала сильфона, и, соответственно, их эксплуатационных характеристик, вплоть до развития щелевой коррозии, приводящей к локальным механическим разрушениям.





Таблица 1. Перечень Информационных паспортов, оформленных в 2023 году

Название технологии (оборудования)	№№ паспортов
1. Опытная технология и специальное оборудование для пайки углерод-керамических композиционных материалов с металлами при изготовлении КС ЖРД МТ	П262/23 <sup>1</sup>
2. Сильфоны со спирально-профильными гофрами и технология их изготовления на прокатно-волочильных станах	П278/23 <sup>2</sup>
3. Станок специальный намоточно-выкладочный с ЧПУ для изготовления из ПКМ пространственных криволинейных труб (модель СНП-33М)	П277/23 <sup>3</sup>
4. Инновационные теплообменные устройства на базе труб с естественной закруткой потока рабочих сред	П279/23 <sup>2</sup>
5. Сепаратор сотовый с закруткой потока для эффективного очищения рабочих сред	П280/23 <sup>2</sup>
6. Штамп для резки сортового проката со скручиванием с дифференцированным зажимом	П281/23 <sup>2</sup>
7. Штамп для получения заготовок из тугоплавких неорганических соединений методами СВС-барометрии	П282/23 <sup>2</sup>
8. Клеть для профилирования труб многозаходными сквозными винтовыми гофрами	П283/23 <sup>2</sup>
9. Компенсатор для устранения радиального и осевого смещения центров приложения нагрузок и деформаций при изготовлении длинномерных трубных изделий на прокатно-волочильном стане	П284/23 <sup>2</sup>
10. Стан прокатно-волочильный для профилирования труб с геликоидной поверхностью	П285/23 <sup>2</sup>
11. Опытная технология гибки труб со скручиванием	П286/23 <sup>2</sup>



Рис 1. Типовой сильфон

<sup>1</sup> С.А. Кочергин, В.В. Степанов<sup>2</sup> С.М. Вайцехович<sup>3</sup> М.А. Захаров, М.С. Петров, С.А. Пушкарев



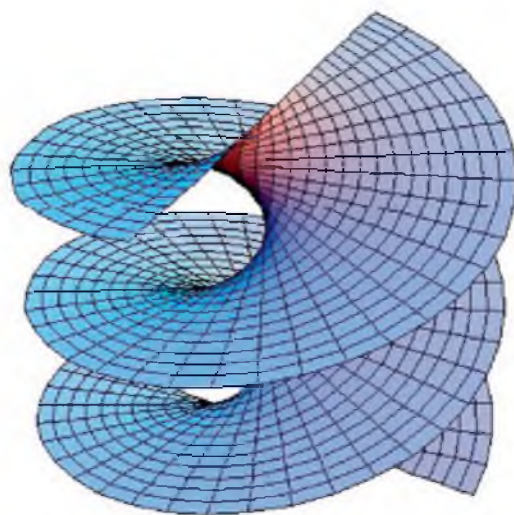


Рис 2. Геликоидная спираль

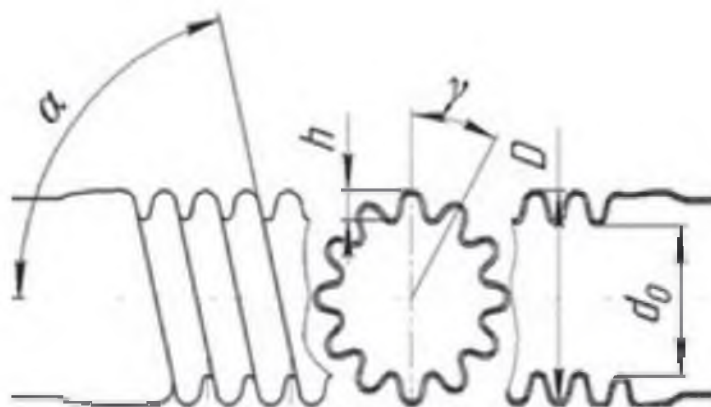


Рис. 3. Основные геометрические характеристики геликоидного профиля сиффона:  
 $D$  – диаметр описанной окружности;  $d_0$  – диаметр вписанной окружности,  $h$  – высота гофры;  
 $\gamma$  – центральный угол между гофрами,  $\alpha$  – угол наклона винтовой линии геликоида ( $\alpha = 65\text{--}85^\circ$ )



Рис. 4. Технологическая схема формирования геликоидного сиффона

В этой связи более перспективными следует считать сальфоны с гофрами, рабочая поверхность которых представляет собой спирально-профильные (в том числе геликоидные<sup>4</sup> спирали – рис. 2, 3) спирали.

Принципиальная технологическая схема фор-

мирования спирально-профильного сальфона показана на рис. 4, а технические характеристики приведены в табл. 2.

Непосредственно технология и соответствующее технологическое оборудование подробно представлены в [1–3]:

**Таблица 2. Технические характеристики (металлические геликоидные сальфоны)**

Характеристики	Значения
параметры труб-заготовок, мм	
- наружный диаметр	15–510
- толщина стенки	0,08–2
- длина	1500
- количество гофр	1–12
- глубина паза гофр, мм от радиуса описанной окружности гофр	0,08–0,5
контрольные углы геометрии сальфона, град. (при количестве гофр от 1 до 12)	
- угол закрутки винтовой линии, $\alpha$	45–85
- угол подъёма винтовой линии, $(90-\alpha)$	45–5

### ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 277/23

Станок специальный намоточно-выкладочный с ЧПУ для изготовления из ПКМ пространственных криволинейных труб (модель СНП-33М)

Станок предназначен для изготовления изделий из специальных полимерных материалов путем намотки их на неподвижно закрепляемую оправку.

Особенность станка заключается в том, что в зависимости от текущей геометрической формы оправки углы намотки автоматически варьируются системой управления станка.

Станок является результатом модернизации специального намоточного станка СНП33 (ФГУП «НПО «Техномаш», 2010) с замещением в нём импортных комплектующих.

По сравнению со станком мод. СНП-33 принципиальный конструктив станка (рис.5) и основ-

ные его технические и эксплуатационные характеристики остались практически неизменными, а в системе управления сохранены функции автоматизированного контроля и регулирования технологических параметров намотки и патентно-защищённая система поддержания задаваемого усилия натяжения наматываемых материалов. Технические характеристики станка приведены в табл. 3.

Наличие аналогов:

- в России: станок-прототип СНП-33 (ФГУП «НПО «Техномаш», 2010);
- за рубежом: сведений нет.

<sup>4</sup> геликоид – винтовая поверхность, образованная движением прямой, вращающейся вокруг перпендикулярной к ней оси и одновременно поступательно движущейся по этой оси с постоянными скоростями вращения и поступательного движения

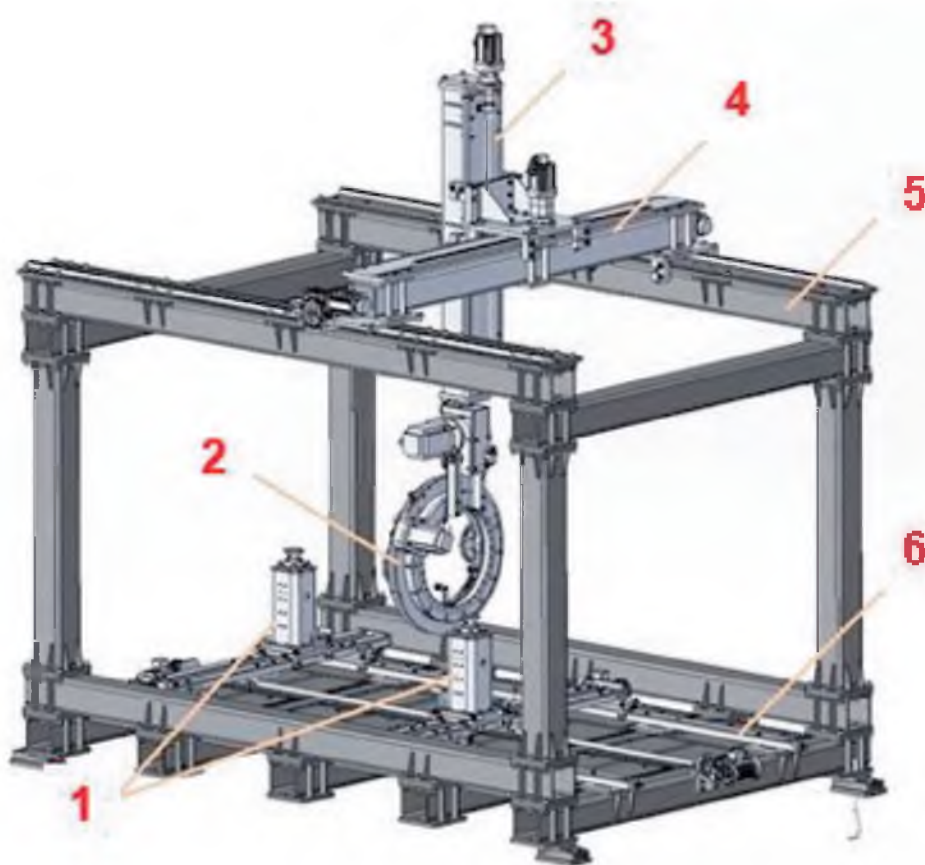


Рис. 5. 3D-компоновка станка СМП-33М: 1 – механизм подъёма оправки; 2 – вертлюг; 3 – ползун; 4 – траверса; 5 – станина; 6 – механизм перемещения оправки

Таблица 3. Технические характеристики

Характеристики	Значения
габариты изготавливаемых труб, мм, не более	
- диаметр	30–300
- длина	2000
основные характеристики станка	
- количество управляемых координат намотки	6
- амплитуда максимальных радиальных перемещений намоточной головки, мм, не более	1000
- питание, В x Гц	380x50
- потребляемая мощность, кВт	57
- общие габариты, мм	4000x2800x5000
- масса, кг	12 000
- площадь размещения оборудования, м <sup>2</sup> , не менее	25

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 279/23****Инновационные теплообменные устройства на базе труб с естественной закруткой потока рабочих сред  
(опережающий задел)**

Теплообменные системы и устройства широко применяются в изделиях общего и специального машиностроения, в том числе в изделиях ракетно-космической техники (космические аппараты длительного использования и др.). Основным рабочим элементом таких систем и устройств являются теплообменные трубы. Сравнительно недавно в их ассортименте появились спирально-профильные трубы (СПТ) (рис. 6).

За счёт естественной закрутки потока транспортируемых по таким трубам рабочих сред использование СПТ обеспечивает:

- существенно более высокую энергетическую эффективность теплообменных систем (суммарный коэффициент теплопередачи);
- практически полное исключение различного рода загрязняющих пристеночных отложений, которое достигается за счёт естественного формирования локальных пристенных макровихрей в транспортируемых по таким трубам жидкофазных средах;

– сравнительно более низкую стоимость технического обслуживания соответствующих теплообменных устройств и систем.

Кроме того, спиральный профиль теплообменных труб увеличивает путь прохождения по ним теплоносителя и суммарную площадь поверхности теплообмена, что существенно повышает эффективную мощность теплообменных аппаратов без изменения их габаритных размеров, а винтовая желобковая форма внутреннего контура труб и спиралеобразное движение по ним теплоносителя приводит к разделению потока рабочих жидкостей на центральный и несколько (по числу гофров) периферийных, перемещающихся по спиралам, что существенно интенсифицирует теплообменные процессы.

Ниже приведён пример (рис. 7) 151-нотрубного сотового теплообменника с СПТ в качестве рабочих элементов.



Рис. 6. Примеры спирально-профильных труб (СПТ)  
(внешний вид трёх- и шестигофровых СПТ)



Рис. 7. Пример теплообменника с СПТ (Патент РФ № 2386096)



Основные результаты экспериментальных исследований двенадцатиугольной СПТ с диаметром описанной окружности 16 мм:

- при глубине гофров  $0,08-0,5R^0$  и углах закрутки  $25-40^\circ$  СПТ надёжно обеспечивается локальная пристеночная закрутка газожидкостного потока;
- при глубине гофров  $0,2-0,5R^0$  и углах закрутки  $25-40^\circ$  происходит не только закрутка общего потока, но и его разделение на несколько (в зависимости от числа «заходности») дискретных потоков;

– при глубине гофров  $0,1R^0$  и углах закрутки  $30-45$  числах «заходности» от 12 до 24 практически без увеличения общего гидравлического сопротивления потока обеспечивается теплоотдача, более чем в три раза превышающая соответствующий показатель эквивалентной гладкой трубы.

Важным достоинством предлагаемой конструкции теплообменника является отсутствие в них необходимости в дополнительных конструктивных решётках.

### ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ 280/23

Сепаратор сотовый с закруткой потока для эффективной очистки газожидкостных рабочих сред  
(опережающий задел)

Сепаратор предназначен для очистки воздуха и сортировки жидкокапельных и жидко-воздушных смесей и отличается от традиционных устройств такого назначения использованием в нём СПТ, обеспечивающих естественную закрутку проходящих по ним воздушных потоков и повышающих за этот счёт функциональные возможности устройств.

Сепаратор состоит (рис. 8) из пучка параллельно расположенных СПТ (геликоидных), законцовки которых выполнены в форме правильных шестигранных призм и соединены между собой беззазорно и герметично, образуя сотовую конструкцию. В отверстия нижних законцовок геликоидов установлены патрубки.

Рекомендуемые области возможного эффективного использования:

- газосепараторы (отделение растворённых газов от жидких углеводородов и мельчайших капель сопутствующих жидких сред);
- нефтегазовые сепараторы (разделение моторного масла и воды);
- сортировочные сепараторы (сортировка воздушными потоками измельчённых материалов по удельному весу и размерам);
- и др.

Главным функциональным элементом предлагаемого сепаратора является спирально-профильная (геликоидная) рабочая труба, принцип технологии формирования которой (регламентированная закрутка исходной трубной заготовки) приведен на рис. 9.

Производственные испытания опытного образца сепаратора с тремя рабочими геликоидными трубами показали практически 100% эффективность очистки промышленной заводской пневмосети от водного тумана (грубодисперсного аэрозоля с диаметром загрязняющих частиц  $d > 20...30$  мкм.).

Проектированием промышленных сепараторов из гофрированных труб, с их изготовлением и испытаниями в АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева», занимается, в частности, АО «ЦКТИ» (Санкт-Петербург).

Наличие аналогов:

- в России: сепараторы производства АО «ЦКТИ» (Санкт-Петербург);
- за рубежом: сведений о прямых аналогах нет.

По результатам метрологической экспертизы технической документации приведённых в статье разработок существенных замечаний нет.



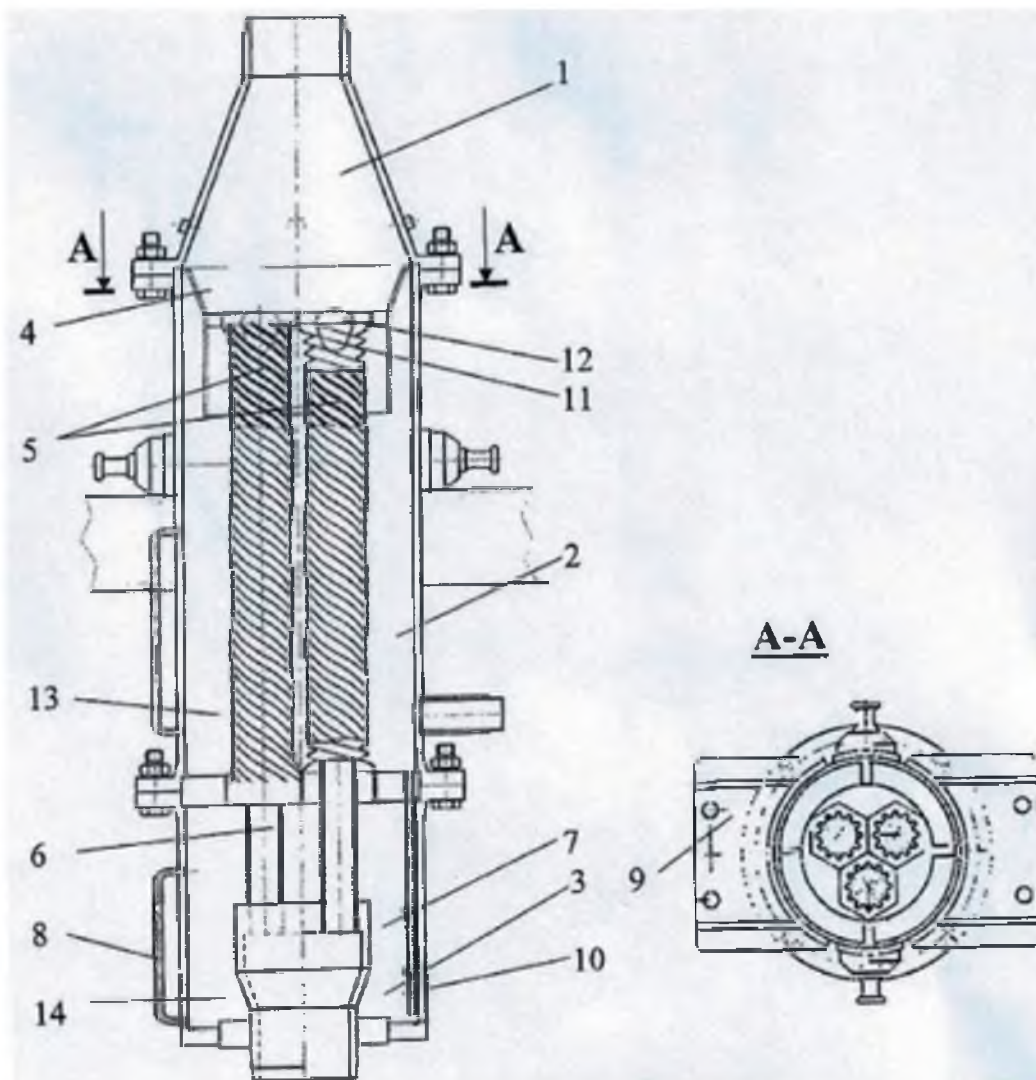


Рис.8. Принципиальная компоновка сепаратора:

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

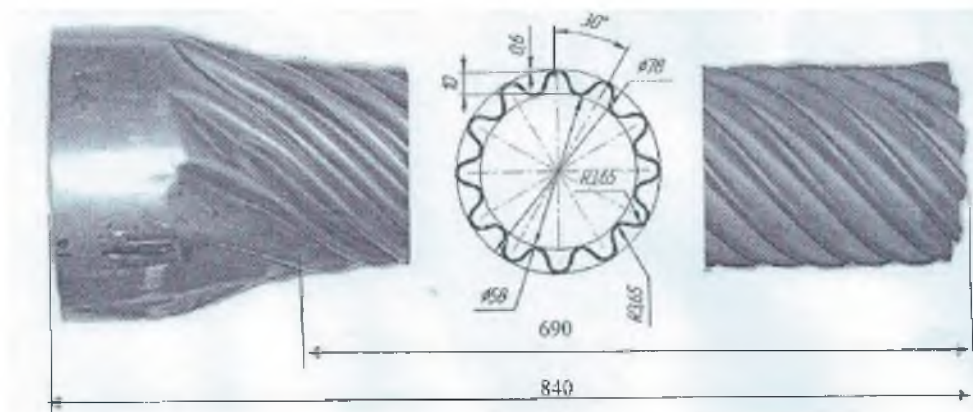


Рис. 9. Заготовка СПТ сепаратора с закруткой потока

**Таблица 4. Геометрические параметры СПТ и технические характеристики трёхтрубного центробежного сепаратора**

<i>Характеристики</i>	<i>Значение</i>
параметры трубной заготовки	
наружный диаметр, мм	112,4
- внутренний диаметр, мм	111,2
- толщина стенки, мм	0,6
параметры СПТ	
- длина трубной детали, мм	840
- длина гофрированной части трубы, мм	690
- наружный (описанный) диаметр, мм	78
- внутренний (описанный) диаметр, мм	58
- число гофров, шт.	1–12
- глубина гофров, мм	9,8–10,0
- угол закрутки (относительно оси СПТ), град.	45
технические характеристики трёхтрубного центробежного сепаратора	
- количество труб <sup>1</sup> , шт.	3
- число гофров, шт.	12
- угол закрутки, град.	45
- рабочая среда	воздух
- точка росы осушенного воздуха, °С	– 40
- рабочая температура воздуха на входе в установку, °С	+ 50
- температура воздуха на выходе их установки, °С, не более	+ 60
- рабочее давление воздуха, МПа, не более	0,6–0,8
- расход очищаемой среды:	
- массовый, кг/ч	46–1100
- объёмный, м <sup>3</sup> /ч	75–150
- вместительность корпуса, л	5,6
- масса, кг	10

**Библиографический список**

1. Вайцехович С.М., Власов Ю.В. Разработка технологии и оборудования для изготовления сильфонов со сквозными спирально-профильными гофрами // Заготовительные производства в машиностроении. – 2022. – № 12. – С. 556–565.

2. Вайцехович С.М. Применение спирально-профильных труб в качестве гофрированной рабочей части сильфонов // Вестник НПО Техномаш. – 2022. – №3. – С. 4–7.

3. Вайцехович С.М. Профилирование длинномерных трубных изделий на прокатно-волоочильном стане // Технология машиностроения. – 2022. – № 11. – С. 5–11.

<sup>1</sup> может варьироваться от 1 до 24 в зависимости от требуемой производительности



**Богданец Александр Владимирович** – начальник управления АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-96 02.

E-mail: A.Bogdanec@tmnpo.ru

Bogdanets Alexander Vladimirovich – office head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: 8 (495) 689-96 02.

E-mail: A.Bogdanec@tmnpo.ru

**Вайцехович Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, эксперт АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: +7 (495) 689-95-87 доб. 95-87

E-mail: vaytsekhovich@tmnpo.ru

Vaitsekhovich Sergei Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: +7 (495) 689-95-87 ext. 95-87

E-mail: vaytsekhovich@tmnpo.ru

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

Тел.: 8 (495) 689-97-04, доб. 25-30.

E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

Dolzhanskii Iurii Mikhailovich – Ph.D. in Engineering Sciences, Expert of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: 8 (495) 689-97-04, ext. 25-30.

E-mail: Dolzhansky.Yu@tmnpo.ru

**Захаров Михаил Александрович** – начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел. 8 (495) 689-96-38 доб. 97-17.

E-mail: M.Zakharov@tm.fsa

Zakharov Mikhail Aleksandrovich – Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел. 8 (495) 689-96-38 ext. 97-17.

E-mail: M.Zakharov@tm.fsa

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

Тел.: 8 (495) 689-95-45

E-mail: S.Kochergin@tmnpo.ru

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

Тел.: 8 (495) 689-95-45

E-mail: S.Kochergin@tmnpo.ru

**Макаров Артём Сергеевич** – аспирант РТУ МИРЭА, начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»,

Тел.: 8 (495) 689-95-66 доб. 26-14.

E-mail: A.Makarov@tmnpo.ru

Makarov Artem Sergeievich – Ph.D. student of RTU MIREA, Department Head of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: 8 (495) 689-95-66 ext. 26-14.

E-mail: A.Makarov@tmnpo.ru

**Петров Михаил Сергеевич** – начальник отдела АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева»

Тел.: 8 (495) 689-96-17 доб. 26-21

E-mail: M.Petrov@tm.fsa

Petrov Mikhail Sergeievich – Department Head of FSUE «NPO «Technomac» named after S.A. Afanasev.

Тел.: 8 (495) 689-96-17 ext. 26-21

E-mail: M.Petrov@tm.fsa

**Пушкарев Сергей Алексеевич** – канд. техн. наук, заместитель главного конструктора АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-96-66 доб. 96-66.

E-mail: S.Pushkarev@tmnpo.ru

Pushkarev Sergei Alekseevich – Ph.D. in Engineering Sciences, Deputy principal designer of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: 8 (495) 689-96-66 ext. 96-66.

E-mail: S.Pushkarev@tmnpo.ru

**Семенов Валерий Васильевич** – д-р экон. наук, советник генерального директора АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева».

Тел.: 8 (495) 689-70-45 доб. 25-69.

E-mail: V.Semenov@tmnpo.ru

Semenov Valerii Vasilyevich – Ph.D. in Economics, Advisor to the CEO of JSC «Afanasev «NPO «Technomac».

Тел.: 8 (495) 689-70-45 ext. 25-69.

E-mail: V.Semenov@tmnpo.ru



УДК 657.56

*Рябчиков П.В., Назаренко М.А.*  
*Riabchikov P.V., Nazarenko M.A.*

## Управление качеством на стадиях жизненного цикла. Контроль геометрии как инструмент повышения технологической надёжности

### Quality management at life cycle stages. Geometry control as a tool to improve process reliability

Анализ причин дефектов в первую очередь направлен на недопущение повторения несоответствий. Важная задача – выявление первопричин дефектов. Необходимо эффективно использовать информацию о дефектах, получаемую с двух направлений, со стадии производства и от потребителей. Анализируя информацию, можно создать модель технологической надёжности, которая может быть использована на любой стадии жизненного цикла. Также в статье представлена информация о создании элементов системы технологической надёжности, результатах апробации на реальном производстве.

The analysis of defect causes is primarily aimed at preventing the recurrence of non-conformities. An important task is to identify the root cause of defects. Defect information from two directions, from the production stage and from consumers, must be utilised effectively. Through analysing the information, it is possible to create a technological reliability model that can be used at any stage of the life cycle. The article also presents information about the creation of the system elements of technological reliability, the results for approbation on the real production.

**Ключевые слова:** контроль качества, технологическое обеспечение надёжности, производственный контроль, контроль геометрии.

**Keywords:** quality control, technological reliability assurance, production control, geometry control.

#### Введение

Размеры продукта определяют его форму и контролируются методами пространственного измерения состояния элементов (точек, линий, плоскостей, форм и т.д.) относительно модели, созданной разработчиком (конструкторской или технологической документации).

Измерение геометрии может оказать существенное влияние на функциональные возможности продукта. Контроль размеров – один из самых изученных и доступных методов контроля. При серийном производстве в целях снижения затрат часто снижают объём контроля. И в целом весьма интересная инженерная задача выбрать оптимальную схему производственного контроля и определить объём [1]. Например, современное

изделие аэрокосмической техники – сложная продукция, которая может содержать до нескольких тысяч геометрических размеров. Если измерять все эти размеры, то трудоёмкость контроля будет больше чем трудоёмкость изготовления. Необходимо определить критично важный объём размеров, которые необходимо контролировать. Схема контроля, которая устанавливается по результатам комплексного обследования, может являться эффективным и недорогим способом обеспечения бездефектного производства. В статье рассматривается один из элементов технологического обеспечения производственной надёжности [2] – установление рациональной схемы и объёма контроля геометрических размеров.

#### 1. Определение количества контролируемых деталей

В настоящее время производство любого технически сложного изделия требует выполнения большого количества операций. Для упрощения

задачи в статье рассматриваются только вопросы измерительного контроля размеров, соответственно более интересны операции формообразования,



где необходимо осуществлять контроль геометрии. Операции контроля чистоты поверхности для упрощения схемы также не рассматриваются.

Готовое изделие возможно представить в графическом виде. В целом, это и есть производственная схема, «рыбий скелет» (рис.1), который формирует производство.

Соответственно, множество входящих деталей (генеральная совокупность по признаку «деталь») можно записать следующим образом:

$$N = \Sigma_{n1} + \Sigma_{n2} + \dots + \Sigma_{nx}, \quad (1)$$

где  $\Sigma_n$  – сумма деталей каждого структурного элемента.

Инженер-технолог при составлении схемы контроля должен ответить на несколько вопросов, рассматривая как каждую деталь, так и совокупность деталей (подборка, узел, агрегат). Эти вопросы можно представить в форме чек-листа:

- влияет ли рассматриваемая деталь на функционирование изделия в целом;
- возможно ли не контролировать деталь в связи с тем, что её формообразование обеспечено контролируемым оснащением (например, стандартный профиль);
- возможно ли не контролировать данную деталь, так как она фактически является заготовкой для более сложной детали.

После проведения указанных работ формируется выборка деталей. Также не стоит забывать о создании перечня критичных элементов конструкции [3], который может стать основой для формирования выборки.

Соответственно, далее возможно проводить работы с выборочной совокупностью, которую можно отобразить следующим образом:

$$n = N - [(\Sigma_{n1} - \Sigma_{mk1}) + (\Sigma_{n2} - \Sigma_{mk2}) + \dots + (\Sigma_{nx} - \Sigma_{mkx})]. \quad (2)$$

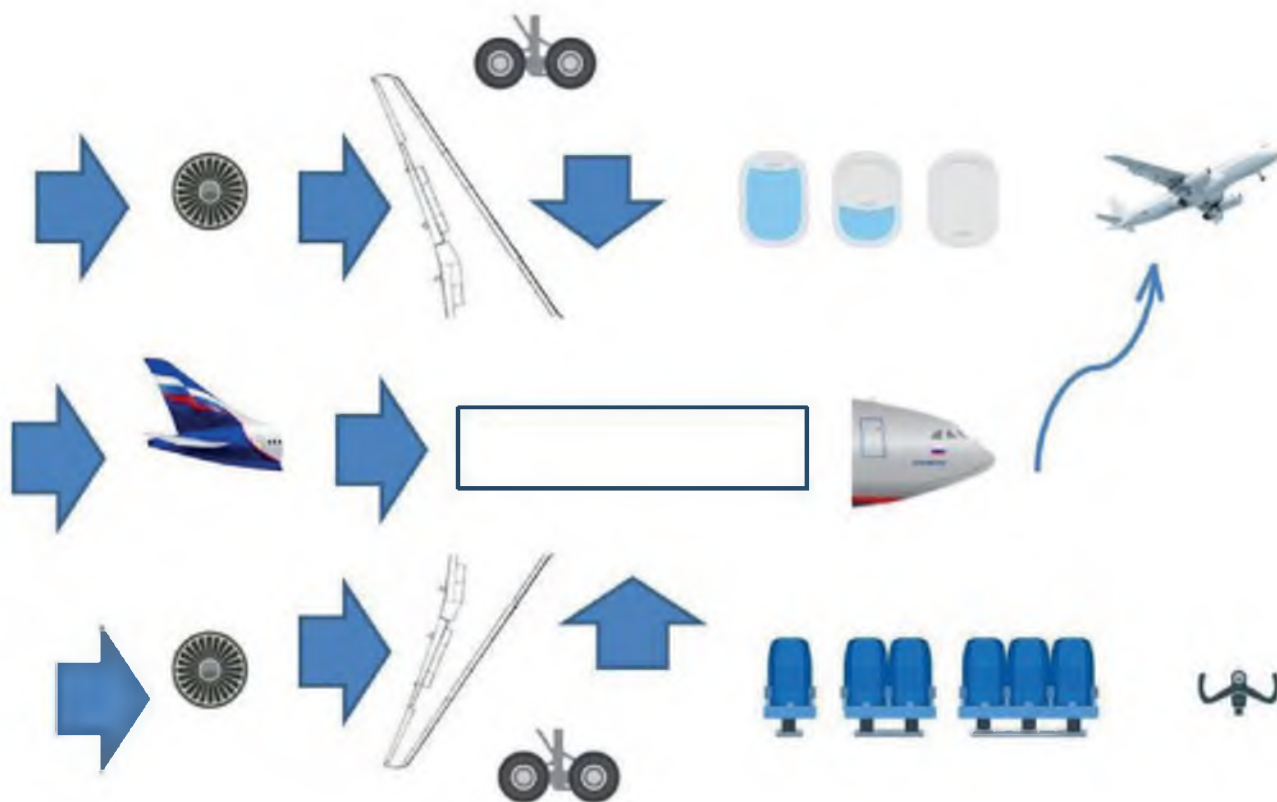


Рис.1. Создание потока производства

## 2. Определение контролируемых параметров

Схематично процесс контроля геометрии можно представить блок-схемой, изображенной на рис. 2.

В данном случае инженер-технолог при определении объёма контролируемых размеров должен ответить на несколько вопросов, рассматривая как каждую размерную цепь или совокупность размерной цепи:

- есть ли размеры, контроль которых не требуется, так как этот размер не влияет на функциональное предназначение изделия? Например, штамповочные или литейные уклоны, справочные размеры, размеры, получаемые инструментом и т.п.;

- есть ли размеры, которые можно проверить после соединения в более высокую структуру сборки;

- есть ли размеры, которые после соединения в более высокую структуру невозможно проверить;

- есть ли размеры, которые можно проверить при сборке, устанавливая ответные стандартные детали или элементы крепежа? Например, отверстие под болт?

Можно интерпретировать, что схема выбора контролируемых параметров аналогична схеме производства, представленной выше. Соответственно и определение выборки количества контролируемых размеров выглядит следующим образом:

$$np = N - \left[ (\sum_{np1} - \sum_{npp1}) + (\sum_{np2} - \sum_{npp2}) + \dots + (\sum_{npr} - \sum_{nppr}) \right] \quad (3)$$

## 3. Расчет объёма контроля и определение схемы контроля

Основным принципом контроля качества размеров является мониторинг ключевых характеристик изделия, которые определяются схемой контроля изделия. Каждой ключевой характеристике можно присвоить обозначение (код) для удобства её мониторинга. Далее необходимо построить матрицу обеспечения качества, на основании которой проводится идентификация любого дефекта по отношению к конечному изделию. Матрица обеспечения качества состоит из трех частей:

- входные параметры;
- ключевые (критические элементы);
- классификация несоответствий.

Такие матрицы целесообразно строить по кластерам, где каждый кластер – зона сборки со всеми ее характеристиками, которые отслеживаются

и анализируются как единое целое (например отдельная составная часть, узел, агрегат и т.д.).

Пример построения матрицы по кластеру агрегата гидравлической системы приведен на рис. 3.

Пример построенной матрицы обеспечения качества учитывает всего два параметра, такие как геометрические размеры и соответствие (несоответствие) установленным полям допуска. Конечно, реальная деталь в реальном производстве содержит значительно больше ключевых (критических элементов). Предлагаемая схема, основанная на выборке по ключевым размерам, может иметь вероятность пропуска дефекта [4]. В данном случае это и будет  $\gamma$  – доверительная вероятность. Доверительный интервал

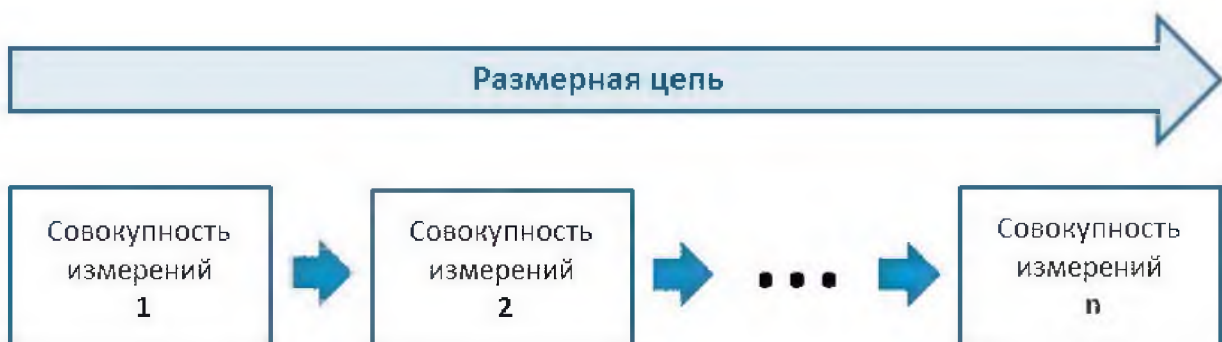


Рис.2. Блок схема измерений



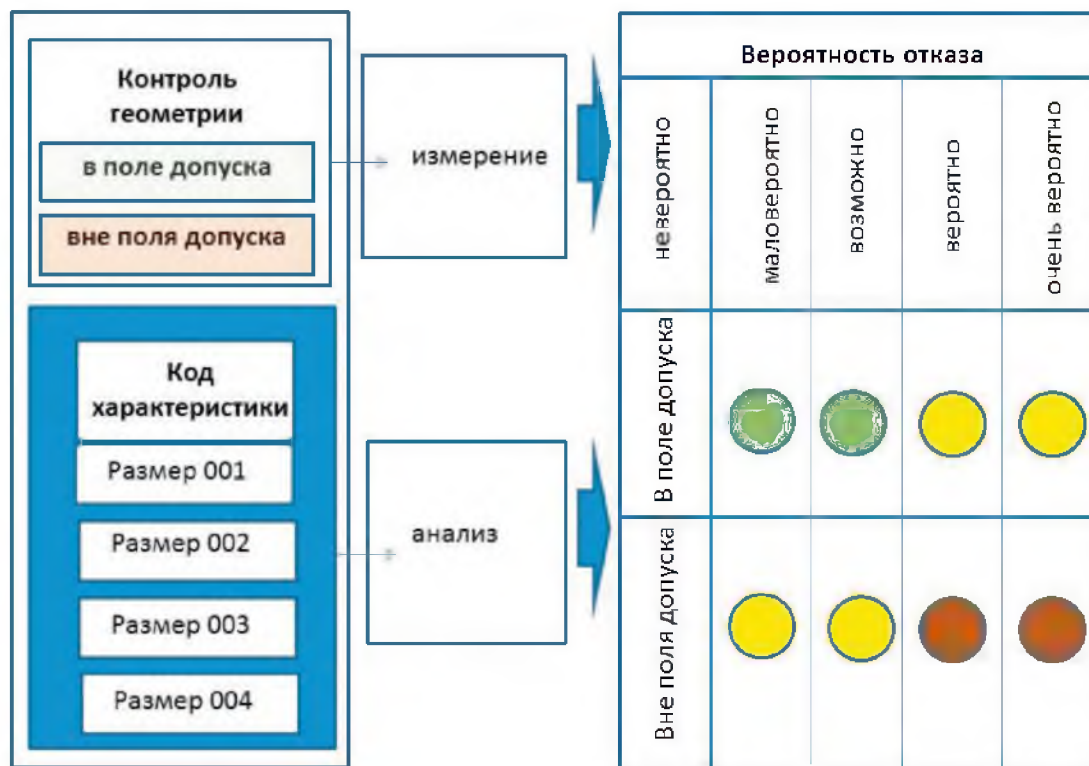


Рис. 3. Пример матрицы обеспечения качества для анализа контроля геометрии

для контроля геометрии можно представить в виде  $[\Theta; 1]$  («вне поля допуска»; «в поле допуска», тогда нижняя доверительная граница для параметра  $\Theta$  рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \int_{\theta}^1 f(\theta) d\theta. \quad (4)$$

Существуют дополнительные данные для анализа, которые с высокой долей вероятности позволят нам сделать вывод о возможной степени влияния вероятности пропуска дефекта. При каждом проектировании новых изделий должны быть заданы количественные показатели надёжности изделия (вероятность отказа). Предлагается сравнить значения вероятности пропуска дефекта с вероятностью отказа и доказать, что данная схема может работать.

Например, вероятность безотказной работы, установленная техническими требованиями, составляет  $P$  эталонное  $= 0,9955$ , при  $\gamma = 0,8$ , соответственно, определяется нижняя доверительная граница. Также представим, что общее количество контролируемых размеров составляет 5000 размеров, но инженер-технолог сократил эту выборку

в 10 раз до  $n_p = 500$  на 60 деталей ( $n=60$ ). Количество размеров без замечаний –  $n_{\text{норма}} = 480$ .

Для оценки надёжности результаты контроля геометрических размеров с результатом «в поле допуска» –  $n$  норма пересчитываются на эквивалентные ( $n_{\text{эkv}}$ ) по формуле:

$$n_{\text{эkv}} = n_{\text{норма}} \times n. \quad (5)$$

В соответствии с [3] можно применить следующие формулы для оценки вероятности безотказной работы:

$$(n+1)C_{np}^n \int_0^{\theta} p^{n-np} (1-p)^{np} dp = 1 - \gamma. \quad (6)$$

где  $C_{np}^n$  – число сочетаний из  $n$  по  $np$ .

В упрощенном виде вероятность безотказной работы будет:

$$P = n_{\text{эkv}} \sqrt{1 - \gamma}. \quad (7)$$

Для рассмотренного случая (60 деталей, 500 размеров и 480 размеров с показателем – норма в поле допуска) –  $P = 2400000 \sqrt{1 - 0,8} = 0,9999$ .



### Заключение

Наибольшее количество современных исследований и опубликованных работ по управлению качеством направлено на улучшение этапов проектирования и подготовки производства. Современное предприятие отличается тем, что зачастую производится компьютерное моделирование (симуляция производства). Компьютерное моделирование может быть выполнено до фактического производства. Таким образом, выполняется прогнозирование критических точек и нежелательных событий, внимание направляется на контроль позиций, которые, как показало моделирование, являются критическими. Недостатком этого подхода является то, что он не дает ответов на вопросы:

– что случится, если ошибка произойдет в позиции, которую симуляция не пометила как критическую и она не отмечена, потому что управление сосредоточено в другом месте;

– может ли виртуальная геометрия быть достаточно надежной, чтобы заменить реальную?

Рассмотренный метод установления схемы и объема контроля не учитывает множество производственно-технологических факторов и является сильно упрощенным. Более сложной по-

лучилось модель, если бы признак параметра  $\Theta$  имел более сложные значения. Например, не «вне допуска, в допуске», а процент от номинального.

Предлагаемый метод – шаг к снижению производственных затрат на выполнение операций контроля без снижения показателей качества и надёжности. С одной стороны, такой подход требует разработки подробной схемы контроля, с другой – быстрое вмешательство при получении значений «вне допуска» обеспечивает возврат к позиции, определенной схемой контроля, что дает законное право требовать изменения процедур измерения и контроля. Благодаря имеющимся свойствам модели, таким как управляемость данными, использование данных в течение всего жизненного цикла, нацеленность на крупномасштабное применение, новая методология может быть применена к любому производству.

Схему контроля необходимо запрограммировать так, чтобы у неё появилась способность распознать взаимосвязь между геометрией готовых деталей и инструментами в процессе формирования деталей. В свою очередь это даст возможность проводить планово-предупредительный ремонт не сплошной, а выборочный «по состоянию».

### Библиографический список

1. Афанасьев П. А. Разработка модели управления рисками предоставления недостоверных результатов испытаний / П. А. Афанасьев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25, № 2(112). – С. 79–87. – DOI 10.37313/1990-5378-2023-25-2-79-87. – EDN FQXWIN.
2. Рябчиков П.В. Актуальные вопросы развития теории надежности. Технологическая надежность изделий / П.В. Рябчиков, М.А. Назаренко // Технология машиностроения. – 2022. – № 7. – С. 5–11.
3. Рябчиков П.В. Анализ видов последствий и критичности отказов как фундамент для разработки перечня особо важных (ответственных), критичных (специальных) технологических процессов и операций / П.В. Рябчиков, И.А. Круглов, В.В. Жуков // Труды ФГУП НПЦАП. Системы и приборы управления. – 2021. – № 1. – С. 30–34.
4. Минимизированный состав информации, контролируемой в ходе мониторинга показателей надежности техники связи и АСУ в системе управления жизненным циклом / Г.И. Азаров, А.А. Самохвалов, В.Н. Слабуха [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 590-594. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-590-591. – EDN PZFUVO.
5. Лукин В.Л. Способ статистического контроля динамики безотказности технических систем в процессе жизненного цикла / В.Л. Лукин, Б.И. Сухорученков // Двойные технологии. – 2012. – № 1(58). – С. 26–34.



**Рябчиков Павел Вячеславович** – директор центра АО «НПО «Техномаш» им. С.А. Афанасьева». Тел.: 8 (495) 689-95-94, доб. 25-08.  
E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru  
Riabchikov Pavel Viacheslavovich – Center Director of JSC «Afanasev «NPO «Technomac». Tel.: 8 (495) 689-95-94, ext. 25-08.  
E-mail: p.ryabchikov@tmnpo.ru

**Назаренко Максим Анатольевич** – канд. физ.-мат. наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), Институт перспективных технологий и индустриального программирования, кафедра электроники, г. Москва.  
E-mail: nazarenko@mirea.ru  
Nazarenko Maxim Anatolievich – Ph.D. in Physics and Mathematics Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «MIREA - Russian Technological University» (RTU MIREA), Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming, Electronics Department, Moscow.  
E-mail: nazarenko@mirea.ru




---

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

Подписано в печать 25.12.2023. Выход в свет 27.12.2023. Формат А4.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура TimesNewRoman  
Усл. п. л. 4,397 Тираж 100 экз. Заказ № 30721  
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/>

