

На правах рукописи



ЛИЗУНОВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ
КОСМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Москва 2023

Работа выполнена в Акционерном обществе «Военно-промышленная корпорация
«НПО машиностроения»
(АО «ВПК «НПО машиностроения»)

Научный руководитель: **Маслов Александр Иванович**,
д.т.н., профессор, заместитель руководителя службы качества по НИОКР Акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения»

Официальные оппоненты: **Кравченко Игорь Николаевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

Олейник Андрей Владимирович, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГАУН «Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2023 г. в _____ часов на заседании Диссертационного совета 24.2.331.18 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская улица, д. 7, ауд. 414мт.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская улица, д. 5, стр.1 ученому секретарю диссертационного совета 24.2.331.18

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Е.С. Постникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. При создании элементов систем космических аппаратов необходимо обеспечить устойчивое функционирование технологической базы их производства в условиях санкций и нестабильности поставок комплектующих, в том числе, для систем энергообеспечения космического аппарата.

Анализ проблем и специфики производства систем энергообеспечения на опытном заводе машиностроения, а также запуск космических аппаратов «Чибиc» и «Кондор-Э» показали, что актуальными, (с точки зрения стабильного функционирования производства системы энергообеспечения) являются решения трех основных задач:

- разработка организационной модели управления производством;
- определение оптимального объема оснащения процессов изготовления и отладки мелкосерийного производства (в перспективе - серийного производства, при подтверждении заказов для нано- и микро- спутников);
- обеспечение качества элементной базы, надежности и эффективности производственных процессов.

Новые задачи в области космического машиностроения приводят к необходимости поиска научно-технических решений, направленных на увеличение автономного времени функционирования, разработку научных основ проектирования и организации производственных процессов изготовления систем энергообеспечения на базе использования универсального оборудования и проведения наземных испытаний в имитационном режиме. Одним из перспективных путей обеспечения качества и улучшения технико-экономических показателей функционирования системы энергообеспечения является поддержание номинальных режимов ее работы в широком диапазоне изменения нагрузки, что можно достичь:

- внесением изменений в работу электронной аппаратуры путем сужения технологических допусков;
- разработкой методов и средств мониторинга производственных и сопутствующих процессов;
- разработкой организационно-технических решений по изменению конструкции и методов контроля параметров качества элементной базы систем энергообеспечения в широком диапазоне изменения мощности нагрузки.

Применение этих решений при организации производства элементов систем энергообеспечения на опытном заводе машиностроения приведет к снижению тепловых и энергетических потерь и соответствующему увеличению длительности её автономной работы, стандартизации и унификации технических решений и в целом минимизации затрат на закупку и производство элементной базы.

Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной и направлена на разработку инструментов организации производственной структуры предприятий-производителей и обеспечения качества элементной базы систем энергообеспечения для космических аппаратов малого- и мини- класса.

Область исследования диссертационной работы соответствует пунктам паспорта специальности: 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства: п. 20 «Анализ и синтез организационно-технических решений. Стандартизация, унификация и типизация производственных процессов и их элементов»; п. 23 «Разработка и совершенствование методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами».

Объектом исследования является производственная инфраструктура предприятий-производителей элементной базы систем энергообеспечения для космического машиностроения.

Предметом исследования являются процессы организации производства и управления качеством элементной базы систем энергообеспечения космического машиностроения.

Цель работы - создание научно-обоснованных решений организации процессов поставки, производства и контроля качества комплектующих элементной базы систем энергообеспечения, обеспечивающих повышение эффективности изделий космического машиностроения.

Задачи исследования:

1. Анализ проблем по организации производственных участков и автоматизации работ в рамках существующей производственной структуры предприятий космической отрасли.
2. Обоснование подхода к созданию производственных участков на основе универсального оборудования и инструментов имитационного моделирования при наземных испытаниях изделия.
3. Разработка организационных моделей управления процессами производства комплектующих для систем энергообеспечения на основе модульности конструкций.
4. Разработка инструментов имитационного моделирования и алгоритмов контроля основных параметров изделий при изготовлении и проверке их качества в производстве.
5. Аprobация предложенных мероприятий по организации производства элементной базы систем энергообеспечения для космического машиностроения.

Научная новизна:

1. Разработана модель организации опытного и мелкосерийного производства элементной базы систем энергообеспечения на основе универсального оборудования, учитывающая унификацию и модульность конструкции и включающая инструменты имитационного моделирования наземных испытаний.
2. Разработан метод обработки результатов наземных испытаний систем энергообеспечения в составе космического аппарата в зависимости от требуемой мощности нагрузки бортовых систем, обеспечивающий улучшение технико-экономических показателей систем энергообеспечения, выполнение целевых задач и увеличение времени автономной работы изделия в целом.
3. Разработаны методы оценки надежности многоканальных технологических систем производства элементной базы систем энергообеспечения (с периодическими запасами) по параметрам производительности.

4. Теоретически обоснованы организационно-технические решения по изменению конструкции и методов контроля параметров качества элементной базы систем энергообеспечения в широком диапазоне изменения мощности нагрузки; алгоритмы контроля качества аппаратно-программными средствами.

5. Обоснована модернизированная модель регулирования и контроля системы энергообеспечения, позволяющая проводить моделирование процессов функционирования элементов в условиях априорной неопределенности изменения мощности нагрузки при эксплуатации космического аппарата в реальных условиях.

Положения, выносимые на защиту:

- организационная модель управления производством элементов системы энергообеспечения, разработанная с учетом изменений конструкции системы управления поворотами солнечных батарей и типизации элементов производственных процессов;

- научно обоснованные организационно-технические решения по созданию структуры и оснащению оборудованием производственного участка (цеха) на опытном заводе машиностроения, позволяющие проводить моделировать процессы функционирования элементов при наземной отработке космического аппарата;

- методы оценки надежности многоканальных технологических систем производства элементной базы систем энергообеспечения (с периодическими запасами) по параметрам производительности.

- разработанные алгоритмы управления производственной мощностью в условиях отсутствия априорной информации об изменении мощностной нагрузки при эксплуатации космического аппарата при наземной отработке.

Достоверность научных результатов исследований и выводов работы подтверждена использованием апробированного математического аппарата, методов оптимизации, строгим применением методов синтеза систем автоматического регулирования (корректности принятых допущений и ограничений при постановке задачи) и верификацией результатов математического моделирования и испытаний.

Практическая значимость:

1. Применение в производстве систем энергообеспечения космического аппарата предложенных методов регулирования и контроля приводит к комплексному улучшению технико-экономических показателей системы энергообеспечения, а также увеличивает срок ее службы не менее, чем на один год.

2. Изменения, внесенные с участием автора в конструкцию и методы контроля параметров качества элементной базы системы управления, обеспечили оптимальный режим работы системы энергообеспечения при минимальном расходе энергии в широком диапазоне изменения нагрузки, что, в свою очередь, позволило улучшить работу аппаратуры регулирования и контроля при реализации проекта Кондор-Э.

3. Применение предложенных энерго- и ресурсосберегающих технологий при разработке и производстве систем энергообеспечения для космических аппаратов обеспечивает требуемые показатели качества и является перспективным.

4. Использование разработанной модели управления производством систем энергообеспечения и методики расчета и определения основных технико-экономических показателей этапов опытно-конструкторских работ на основе дифференциальной сметы затрат значительно снижает стоимость изготовления элементов систем энергообеспечения космического аппарата.

Реализация результатов работы:

- Патент на изобретение (патент №2624447 РФ «Способ управления автономной системой электропитания космического аппарата») используется в настоящее время для реализации проекта Кондор-ФКА.

- Предложенные мероприятия реализованы при изготовлении космических аппаратов «Чибис» (ИКИ РАН), «Кондор-Э» и «Кондор-ФКА» (АО «ВПК «НПО машиностроения»).

- Результаты исследований используются в учебном процессе на АКФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация результатов работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на: XLIV Академических чтениях по космонавтике имени академика В.Н. Челомея, секция 22, Реутов, 2020; VIII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», Москва, 2020; XLV Академических чтениях по космонавтике имени академика В.Н. Челомея, секция 22, Реутов, 2021; научно-технической конференции АО «ВПК «НПО машиностроения» «Перспективные разработки ракетно-космической техники» (спец/темы) (2 доклада: «Современные принципы производства СЧ КА ДЗЗ» и «Батареи солнечные с откидными панелями, открываемыми под углом»); 5-ом Симпозиуме «Современные проблемы создания малых космических аппаратов и их использования для решения социально-экономических и научных задач» в рамках 56-х Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 2021; XLVI Академических чтениях по космонавтике имени академика В.Н. Челомея, секция 22, Реутов, 2022; 6-ом Симпозиуме «Современные проблемы создания малых космических аппаратов и их использования для решения социально-экономических и научных задач» в рамках 57-х Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 2022; XLVII Академических чтениях по космонавтике имени академика В.Н. Челомея, секция 22, Реутов, 2023.

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 13 научных трудах, в том числе 4 статьях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов ВАК РФ, опубликованы тезисы 7 докладов, получен 1 патент РФ на изобретение.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 137 страницах, включая 41 рисунок, 8 таблиц и список литературы из 110 наименований и приложения на 27 страницах.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи исследований, отражены научная новизна, практическая значимость и внедрение результатов работы, сформулированы положения, которые выносятся на защиту.

Глава 1 посвящена анализу существующей организации машиностроительного производства систем энергообеспечения и расчёту экономической эффективности от применения организационной модели управления производством. Анализ выполнен по работам Чернова В.А., Котиевой Ю.Г., Захарова М.Н., Саркисова А.С., Дунаева В.Ф., Омельченко И.Н., Колготина А.В., Эбергардт А.Е., Кузнецова А.И. и других.

В любой программе, где создаются высокие технологии, организационная среда, с точки зрения перспективной разработки, состоит из трех взаимозависимых систем: материальная система (уровень реальной работы); исполнительная система (отвечает за управление заданием); система анализа (обеспечивает руководство общей деятельностью и задает направление).



Рис. 1. Комплексная матричная структура организации производства системы энергообеспечения космического аппарата

Структура управления производством систем энергообеспечения для космических аппаратов разработана при создании космического аппарата «Чиби́с» на основе анализа критических стадий реализации проекта, готовности производственных мощностей, систем управления, программного обеспечения и функциональной готовности производства с точки зрения достаточности технологического оборудования и оснастки производства (Рис. 1).

При расчете производственной мощности учитывался анализ различных схем построения системы энергообеспечения и существующие аналоги. Ниже приведена разработанная автором структура управления производством систем энергообеспечения для космических аппаратов (Рис. 2).

Итоговым показателем экономической эффективности модели управления производством систем энергообеспечения для космического аппарата была принята рентабельность производства (R), определяемая следующим образом:

$$R = \frac{TR - TC}{TC},$$

где: TR – общая выручка от реализации проекта по производству системы энергообеспечения; TC – общие затраты на производство системы энергообеспечения.

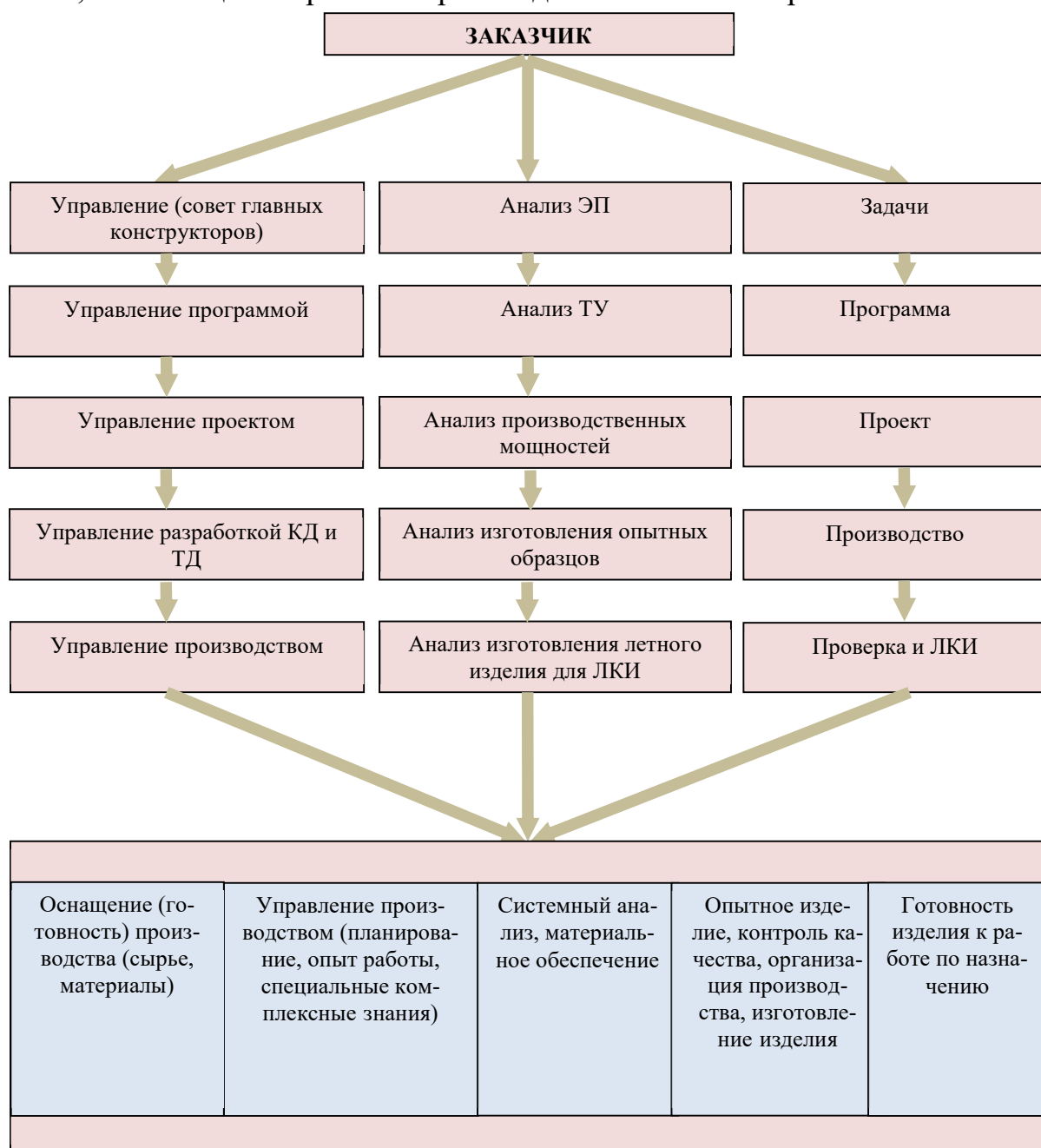


Рис. 2. Структура планирования и управления производством систем энергообеспечения

Определено приращение рентабельности:

$$\Delta R = R_2 - R_1 = R = \frac{TR - TC_2}{TC_2} - \frac{TR - TC_1}{TC_1} = P \cdot Q \cdot \left[\frac{1}{TC_2} - \frac{1}{TC_1} \right]$$

где: TC_1 – общие затраты при реализации проекта без учета применения модели управления производством систем энергообеспечения; TC_2 – общие затраты при реализации проекта с учетом применения модели управления производством систем энергообеспечения; P – цена системы энергообеспечения; Q – количество системы энергообеспечения.

$$TC_1 = FC + VC_1; TC_2 = FC + VC_2$$

где: FC – постоянные издержки (независимо от количества продукции);
 VC_1, VC_2 – переменные издержки (меняются вместе с количеством продукции).

$$VC_1 = vc \cdot V_1; VC_2 = vc \cdot V_2$$

где: vc – удельные переменные затраты;

V_1, V_2 – величины запасов материалов и покупных комплектующих изделий соответственно без учета и с учетом применения модели управления производством системы энергообеспечения.

В главе 2 изложены материалы по разработке и исследованиям организационных моделей производства систем энергообеспечения, а также организационно-технических решений, позволяющих повысить технико-экономические показатели и тактико-технические характеристики изделий на основе результатов летных конструкторских испытаний.

Возрастающие требования, предъявляемые к системам энергообеспечения показывают, что традиционными методами, решить проблему существенного улучшения технико-экономических показателей и тактико-технических характеристик систем энергообеспечения довольно сложно, что подчеркивает важность и актуальность поиска решений, направленных на комплексный поход к организации их производства. Современная концепция организации машиностроительного производства, особенно в области космического машиностроения, как готовых изделий, так и отдельных систем и приборов для изготовления космического аппарата, должна базироваться на следующих основных принципах: унификация, модульность, модернизируемость. Необходимость выполнения этих принципов легла в основу разработанного в диссертации подхода по организации процессов разработки, изготовления и сборки систем энергообеспечения космического аппарата.

В диссертации параллельно решается ряд важнейших задач по оптимизации производства систем энергообеспечения. Оптимизированы закупки комплектующих для изготовления печатных плат аппаратуры регулирования и контроля для системы энергообеспечения. Стоимость одной платы в ценах 2022 года ~ 4,0 млн. рублей, однако изменения, внесенные в конструкцию системы управления поворотами солнечных батарей (патент №2624447 Рос. Федерация: МПК H02J 7/34 (2006.01) С.А. Лизунов [и др.]. Заявл. 07.07.2016, опубл. 04.07.2017, Бюл. № 19), позволяют сократить необходимое количество печатных плат, тем самым уменьшая количество выдаваемых команд, так как пропадает необходимость в проведении формовочных циклов (лечебные циклы по глубокому разряду-заряду) батареи химических аккумуляторов, что в совокупности с заменой стального каркаса солнечных батарей на полимер (композитный материал углепластик) существенно улучшает ценовые и массо-габаритные характеристики малого (500-1000 кг), мини- (100-500 кг) и микро- (10-100 кг) классов КА. В обобщенной рабочей схеме разработанной в диссертации организационной модели мелкосерийного производства систем энергообеспечения для космических аппаратов (Рис.3) отражены основные этапы от закупки комплектующих до транспортировки готовой продукции на космодром запуска. Схема внедрена и апробирована на космическом аппарате «Кондор-Э». При организации производства систем энергообеспечения появляется возможность существенной экономии времени и материальных ресурсов, используя уже проработанные ранее и испытанные решения, изготовленные и проверенные

функциональные комплектующие, а также используя современный принцип модульности с внедрением современных разработок. Все вышесказанное было учтено при определении ключевых факторов организации производства систем энергообеспечения (Рис. 4), к которым будет привязано финансирование в зависимости от сложности стадий изготовления (снабжение необходимыми комплектующими) и расчетная загрузка производственной мощности, что обеспечит минимально затратную и качественную реализацию проектов по производству системы энергообеспечения.

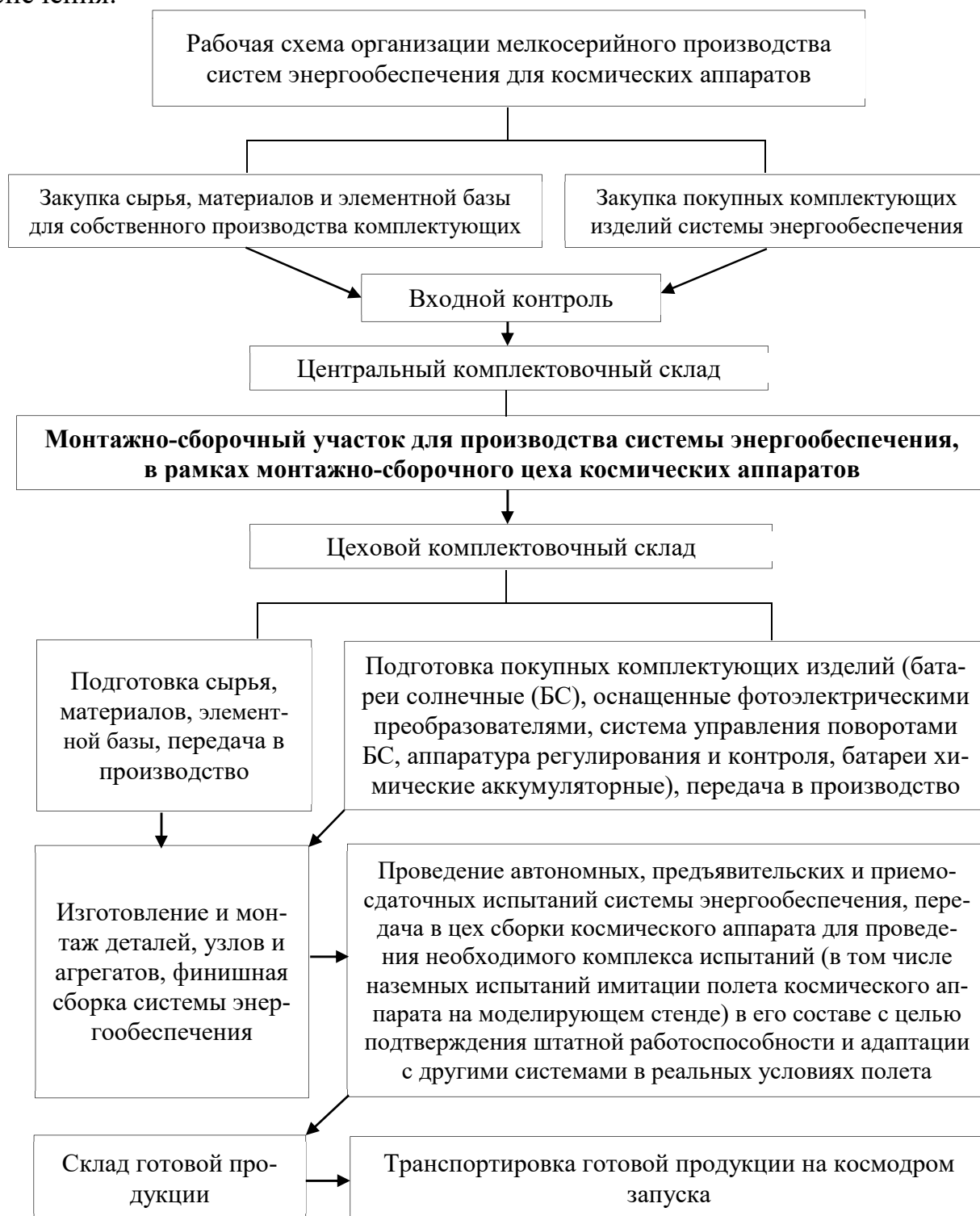


Рис.3. Обобщенная схема организационной модели мелкосерийного производства системы энергообеспечения

Расчет необходимых технико-экономических показателей на основе ключевых факторов для организации производства проводится с определением основных этапов проекта по организации машиностроительного производства системы энергообеспечения на основе дифференцированной сметы затрат в совокупности с расчетом научно-технической и экономической эффективности результатов от реализации проекта. Трудоёмкость разработки системы энергообеспечения $\tau_{СЭП}$ определяем, как сумму величин трудоёмкости выполнения отдельных стадий разработки системы энергообеспечения из выражения:

$$\tau_{СЭО} = \tau_{ТЗ} + \tau_{ЭП} + \tau_{РКД} + \tau_{ТО} + \tau_{ЛО},$$

где: $\tau_{ТЗ}$ – трудоёмкость разработки технического задания на системы электропитания; $\tau_{ЭП}$ – трудоёмкость разработки эскизного проекта на системы электропитания; $\tau_{РКД}$ – трудоёмкость разработки рабочей конструкторской документации; $\tau_{ТО}$ – трудоёмкость изготовления технологического образца для предварительных испытаний; $\tau_{ЛО}$ – трудоёмкость изготовления летного образца для приемо-сдаточных испытаний, с последующей сдачей заказчику.

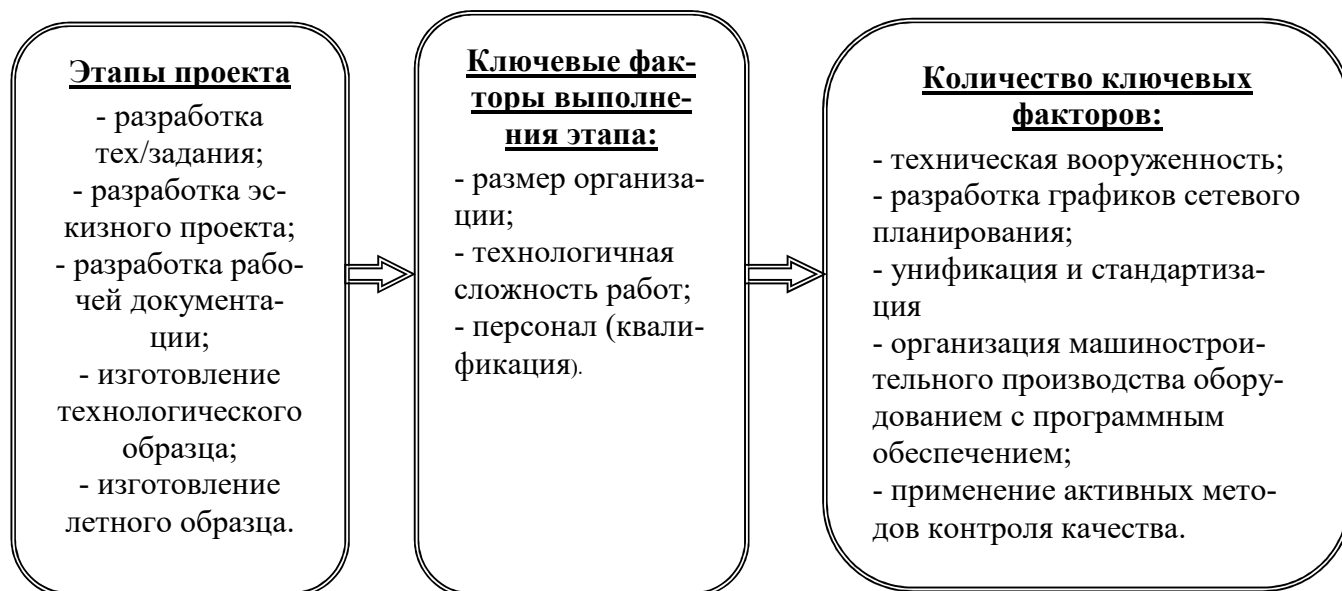


Рис. 4. Ключевые факторы организации производства.

Рассмотрены основные этапы разработки и организации производства как системы энергообеспечения в общем, и соответствующие каждому этапу производства статьи затрат. Создавая каждый раз системы энергообеспечения, необходимо вложить немалое количество трудовых и материальных ресурсов, однако для целого ряда задач имеется возможность использовать однотипную систему энергообеспечения со схожими характеристиками, что повышает ее производственную и экономическую эффективность.

Глава 3 посвящена разработке организационно-технических решений по организации производства систем энергообеспечения на основе результатов наземных и летных конструкторских испытаний и компьютерного моделирования. Разработанные в диссертации решения подтвердили работоспособность внедренных

структурных схем системы энергообеспечения (разработанные и внедренные методики позволили оценить погрешности моделирования при изготовлении систем энергообеспечения на опытном заводе машиностроения). Патентные исследования, проводимые в рамках НИОКР по созданию системы энергообеспечения космического аппарата различного назначения, позволили выявить следующие тенденции, в направлении которых производится патентование новых изобретений и влечет за собой изменение модели управления производством систем энергообеспечения для космических аппаратов, а именно:

- повышение скорости разработки, снижение затрат на производство за счет унификации приборных панелей по конструкции, наделение их приборными интерфейсами и элементами бортовых систем;

- моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов;

- повышение скорости разработки, снижение затрат на производство за счет повышения модульности конструкции космического аппарата путем использования типовых по конструкции и интерфейсу модулей бортовой аппаратуры, либо использования несущих модулей с интегрированной в них бортовой аппаратуры.

Построение схемы организации производства предусматривает создание: модели системы управления поворотами батарей солнечных системы энергообеспечения; единой производственной, а на ее основе и бортовой управляющей сети основанной на использовании стандартных интерфейсов обмена; единого информационного пространства; интегрированных вычислительных, энергетических и телекоммуникационных ресурсов; унифицированного программного обеспечения; унифицированных протоколов связи, в том числе и с оборудованием, имеющим нестандартные разновидности входного и выходного электрического сопряжения; единой технологии создания служебного и функционального программного обеспечения; унифицированных протоколов связи с комплексами контроля и управления на всех этапах жизненного цикла.

Технические решения, определившие выбор модулей, входящих в модель системы управления поворотами солнечных батарей системы энергообеспечения использованы в модели организации производства на опытном заводе машиностроения. Анализ циклограмм потребления бортовых систем подтвердил: точность проведенных электрических и тепловых расчетов систем энергообеспечения; обоснованность выбранных схем построения; надежность и достоверность результатов наземной обработки расширенной компьютерной системой управления изготовления системы энергообеспечения; достаточность количественных измерений, отражающих требования в отношении качества посредством комплексного индекса работы.

Глава 4 посвящена имитационно-компьютерному моделированию системы энергообеспечения на стенде опытного завода машиностроения, разработке методов оценки надежности многоканальных технологических систем (с периодическими запасами) по параметрам производительности и рекомендаций по организации и управлению производством. На Рис. 5 представлен алгоритм контроля параметров системы электропитания при изготовлении и отладке в производстве на опытном заводе машиностроения.

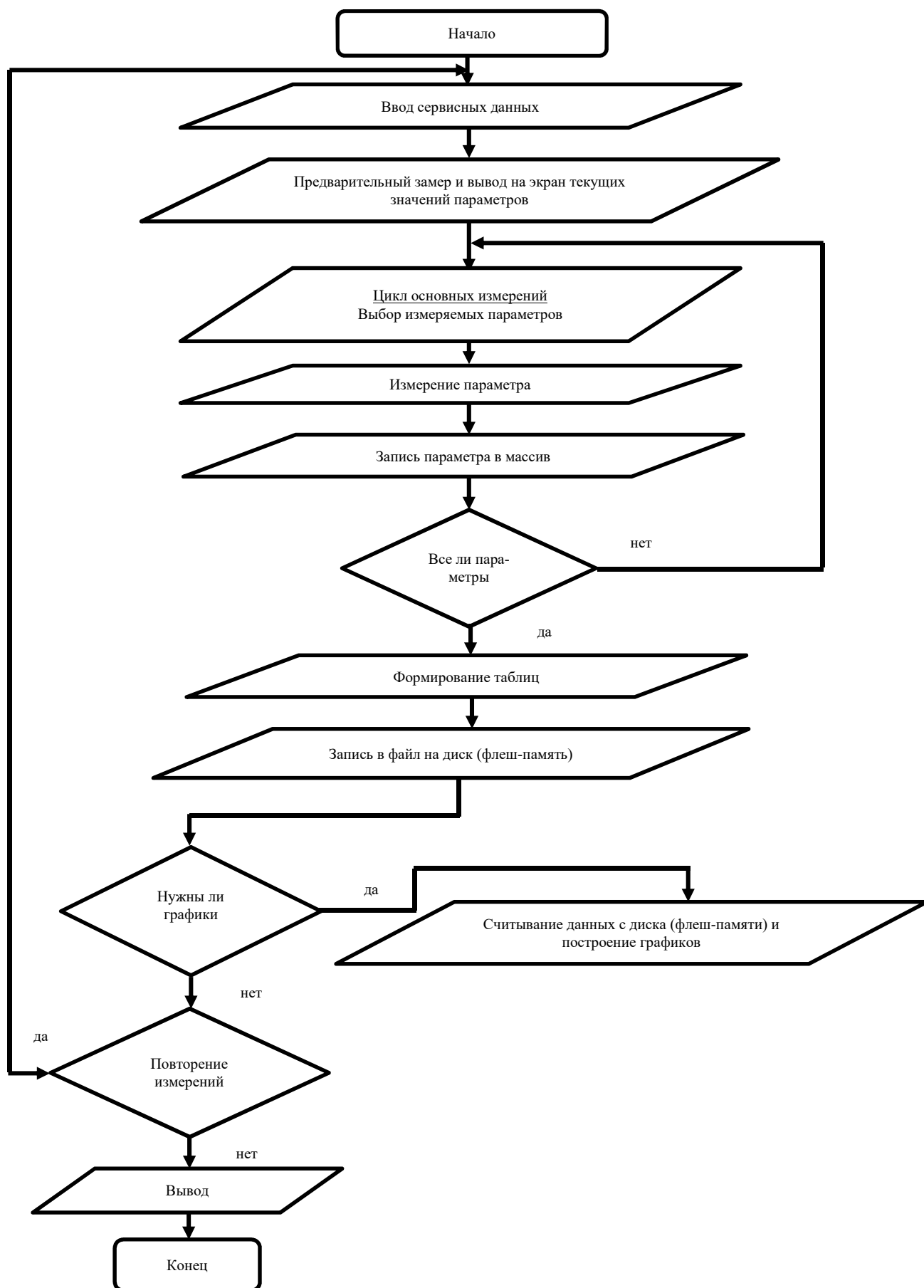


Рис. 5. Алгоритм контроля параметров систем энергообеспечения при изготовлении и отладке в производстве

Все параметры системы энергообеспечения, характеризующие её состояние, режим работы и тепловыделение, определяются как промежуточные результаты в процессе расчётов по приведенной методике и сравниваются с полученными результатами при изготовлении и проверках во время производства.

Автором разработаны методы оценки надежности многоканальных технологических систем (с периодическими запасами) по параметрам производительности, применяемые при проектировании и расчетах надежности действующих технологических систем.

Полная номенклатура выходных показателей надежности и перечень исходных данных, необходимых для их расчета, приведена в Таблице 1.

Таблица 1 (начало)

№ п.п.	Наименование показателя	Обозначение	Определение
1	Вероятность выполнения задания	$P_t(V, t)$	Вероятность того, что фактический объем работ, выполненный за время t с установленными ограничениями и с учетом требований к ритмичности выпуска и качеству продукции, будет не меньше объема V .
2	Вероятность выполнения задания при наличии фиксированных запасов	$P(V, v)$	Вероятность того, что фактический объем работ V будет выполнен с непополняемым фиксированным запасом v .
3	Вероятность поддержания фактической интервальной производительности на заданном уровне	$P_u(C, t)$	Вероятность того, что фактическая интервальная производительность C (t) окажется не менее заданного значения C .
4	Вероятность поддержания фактической интервальной производительности на заданном уровне при выполнении заданного объема работ	$P_c(V, C)$	Вероятность того, что задание будет выполнено со средней фактической производительностью не менее C .
5	Среднее время выполнения задания фиксированного объема	$T_{вз}(V)$	Первый момент распределения $1 - P_t(v, t)$
6	Средняя наработка системы до отказа при наличии запасов готовой продукции	$T_{ср}(v)$	Средняя наработка от момента, когда запасы в системе были равны v , до окончания запасов, затраченных на компенсацию простоев системы

Таблица 1 (окончание)

7	Средняя наработка системы до первого снижения фактической интервальной производительности до уровня C	$T_{cp}(C)$	Первый момент распределения $1 - P_i(v, c)$
8	Средний объем работ, выполненный за время t	$\bar{V}(t)$	Первый момент распределения $1 - P_i(v, t)$
9	Средняя фактическая производительность в заданном интервале	$C(t)$	Отношение среднего объема работ, выполненных в заданном интервале времени, к величине интервала
10	Средняя фактическая производительность при выполнении работ заданного объема	$C(V)$	Отношение объема работ к среднему времени выполнения заданного объема работ
11	γ - процентный ресурс времени, необходимый для выполнения работ заданного объема	$T_{вз} \gamma(C)$	Время, в течение которого будет выполнен объем работ V с вероятностью не менее γ .
12	γ - процентный ресурс времени до первого снижения фактической интервальной производительности до заданного уровня	$T\gamma(C)$	Время, в течение которого фактическая интервальная производительность будет не менее C с заданной вероятностью γ .
13	γ - процентный объем работ, выполняемый за заданное время	$V\gamma(t)$	Объем работ, который будет выполнен за время t с вероятностью не менее γ .
14	Коэффициент готовности	K_z	По ГОСТ 27.007
15	Коэффициент ритмичности при наличии запасов	$K_p(v)$	Средняя доля времени, в течение которого технологическая система поставляет готовую продукцию путем производства изделий запасов v
16	Коэффициент использования запасов	$K_{из}(v)$	Средняя доля времени, в течение которого продукция на выходе обеспечивается за счет запасов v .
17	Коэффициент устойчивости фактической интервальной производительности	$K_z(C)$	Средняя доля времени, в течение которого интервальная производительность будет не ниже

Показатели 1 – 5 рекомендуется применять при выполнении однократных заданий известного объема и тяжелых последствиях срыва задания. Средние значения случайных величин (показатели 6 – 11) – для оценки надежности систем длительного использования с невысокой «ценой» срыва задания. Для повышения уверенности в количественных оценках времени выполнения задания и объема выполняемого задания применяются квантильные оценки с гарантийной вероятностью γ

(показатели 12 – 14). Коэффициенты 15 – 17 рекомендуется применять для оценки надежности системы в процессе эксплуатации.

Результатами испытаний подтверждена эффективность и адекватность разработанной модели организации производства систем энергообеспечения для космических аппаратов. Структура и схема организации работ с системой энергообеспечения при летных конструкторских испытаниях строились в соответствии с предложенными и отработанными (апробированными) алгоритмами управления при наземной отработке. Летная автоматика системы энергообеспечения полностью обеспечила формирование и выдачу на наземные комплексы управления (измерительные пункты) телеметрические и командные параметры.

Основные результаты и выводы:

1. Проведена количественная и качественная оценка эффективности управления системами энергообеспечения на этапах их жизненного цикла на основе действующих государственных стандартов РФ в области разработки, документирования и качества, что позволило разработать обоснованные научно-методически подходы к организации производства и повышению показателей качества систем энергообеспечения космических аппаратов.

2. Разработана и внедрена организационная модель управления производством систем энергообеспечения для космических аппаратов с учетом существующей структуры, проблем поставки комплектующих и современных требований на предприятиях космической отрасли, которая позволила увеличить производственную и экономическую эффективность всего цикла изготовления космического аппарата.

3. Диссертационная работа параллельно решает ряд важнейших задач по оптимизации производства системы энергообеспечения и вносит изменение в её конструкцию, что в результате позволяет не проводить формовочные циклы по глубокому разряду-заряду батарей химических аккумуляторов, солнечные батареи установлены на внешней поверхности приборного контейнера космического аппарата, обосновано сокращение количества командных плат, увеличен срок работы на орбите.

4. Разработанные и внедренные при наземных и летных испытаниях космического аппарата структурно-функциональная схема построения, структурная схема, общая электрическая схема и схема раскрытия солнечных батарей системы энергообеспечения позволили регулировать как заряд, так и разряд батарей химических аккумуляторных, эффективно использовать энергию Солнца и поддерживать стабильное напряжение при нагрузке, обеспечивая штатную работу бортовых систем.

5. Внедрен алгоритм контроля ключевых параметров при изготовлении и проверке качества изделий в производстве, на основании которого обосновано создание производственных участков с универсальным оборудованием и инструментами имитационного моделирования в условиях наземных испытаний системы энергообеспечения в составе космического аппарата.

6. Разработаны методы оценки надежности многоканальных технологических систем (с периодическими запасами) по параметрам производительности, необхо-

димые для работников служб надежности, качества и конструкторов, занимающихся проектированием и расчетами надежности действующих технологических систем в отраслях машиностроения, приборостроения.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные труды в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Лизунов С. А., Маслов А.И. Совершенствование научных и методологических принципов организации производства системы электроснабжения при создании и эксплуатации микроспутника «Чибис» на базе солнечных батарей с корпусом из композиционного материала // Вопросы оборонной техники, научно-технический журнал. Серия №15, Выпуск 3, МО, 2021, С.3-8. (0,5 п.л./ 0,45 п.л.);

2. Лизунов С.А., Маслов А.И., Лизунов А.А. Рекомендации по оптимизации управления производственной мощностью промышленно-технического комплекса по производству системы электропитания (на основе опыта изготовления и эксплуатации микроспутника «Чибис») // Научно-технический журнал «Вестник Казанского государственного технического университета имени А.Н. Туполева», № 1, Казань, 2022, С.64-68. (0,45 п.л./ 0,4 п.л.);

3. Лизунов С.А. Основные экономические принципы, используемые при реализации проектов «Кондор» // АО «ВПК «НПО машиностроения», 6-ый сборник научно-техническая конференция «Перспективные разработки ракетно-космической техники» (спец/темы) (инв. от 28.09.2023 № 41972), 2023, Реутов, С. 166-170. (0,56 п.л.);

4. Лизунов С.А., Рахмилевич Е.Г. [и др.] Разработка метода оценки надежности многоканальных систем по параметрам производительности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки (машиностроение и машиноведение), №4, Тула, 2023, С. 405-411. (0,72 п.л./ 0,3 п.л.);

5. Лизунов С.А. Комплексная система автоматизированного контроля качества изготовления фотоэлектрических преобразователей и батарей по результатам анализа полученных технических параметров // Научно-технический журнал «Вестник Казанского государственного технического университета имени А.Н. Туполева», № 2, Казань, 2023, С. 58-65. (0,68 п.л.).

Тезисы докладов:

6. Лизунов С.А., Еременко В.Г. Проблемы повышения энергетической эффективности и безопасности СЭП космического аппарата с батареей солнечной и ядерной энергоустановкой в качестве первичного источника электроэнергии (исследование и разработка ключевых элементов АРК СЭП) // XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, Москва, (28-31 января) 2020, С. 652-653. (0,15 п.л./ 0,1 п.л.);

7. Лизунов С.А. Способ определения основных технико-экономических показателей этапов составной части опытно-конструкторской работы по изготовлению системы электропитания космического аппарата на основе дифференцированной

сметы затрат // VIII международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», Москва, (27 апреля), 2020, С.14-15. (0,1 п.л.);

8. Лизунов С.А., Маслов А.И. Основные принципы проектирования и организации производства систем управления космическим аппаратом «Кондор-Э» // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, Москва, (30 марта-2 апреля) 2021, С. 355-357. (0,12 п.л./ 0,1 п.л.);

9. Лизунов С.А., Журавлев Р.И., Лизунов А.А. Система электроснабжения МС «Чибис», научные и методологические принципы организации производства, опыт эксплуатации и рекомендации на будущие МС // 5-ый Симпозиум «Современные проблемы создания малых космических аппаратов и их использования для решения социально-экономических и научных задач» в рамках 56-х Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, (21-23 сентября) 2021, С. 61-64 (0,25 п.л./ 0,2 п.л.);

10. Лизунов С.А., Лизунов А.А., Маслов А.И. Способ оптимизации управления производственной мощностью промышленно-технического комплекса с применением действующей методики расчета дифференцированной сметы затрат // XLVI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, Москва, (25-28 января) 2022, С. 445-448. (0,2 п.л./ 0,15 п.л.);

11. Лизунов С.А., Маслов А.И. Организация машиностроительного производства в условиях неопределенности и нестабильности поставок комплектующих // 6-ый Симпозиум «Современные проблемы создания малых космических аппаратов и их использования для решения социально-экономических и научных задач» в рамках 57-х Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, (20-22 сентября) 2022, С. 41-43 (0,15 п.л./ 0,1 п.л.);

12. Лизунов С.А., Маслов А.И. Автоматизация эксперимента при исследовании характеристик фотоэлектрических преобразователей и оснащённых ими панелей батареи солнечной // XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства, Москва, (24-27 января) 2023, С. 295-301. (0,16 п.л./ 0,1 п.л.).

Патент на изобретение:

13. Способ управления автономной системой электропитания космического аппарата: патент №2624447 Рос. Федерация: МПК H02J 7/34 (2006.01) С.А. Лизунов [и др.]. Заявл. 07.07.2016, опубл. 04.07.2017, Бюл. № 19.