

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЕРИФИКАЦИИ РАЗРАБОТКИ КОРПУСА ГОЛОВНОГО АНТЕННОГО ОБТЕКАТЕЛЯ

Ю.П. Похабов<sup>1</sup>

pokhabov\_yury@mail.ru

В.А. Каверин<sup>2</sup>

Е.Р. Сапарбаева<sup>2</sup>

М.В. Шиповалов<sup>2</sup>

Д.П. Политов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «НПО ПМ МКБ», г. Железногорск, Красноярский край,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов, Московская обл.,  
Российская Федерация

---

### Аннотация

Сложные технические ракетно-космические системы при проектировании требуют применения решений, направленных на достижение заданных целей служебного назначения. Для достижения оптимального результата проектирования необходима комплексная верификация проектно-конструкторских решений. В качестве подхода к верификации рассмотрено совместное использование теории решения изобретательских задач, функционально-стоимостного анализа и конструкторско-технологического анализа надежности. В основе реализации указанных методик лежит функциональный анализ, с помощью которого конструкцию представляют в виде набора требуемых функций. Этот прием позволяет абстрагироваться от конструктивных решений и описать любую конструкцию в удобном для анализа виде, что дает возможность конструктору находить приемлемые решения для достижения задач служебного назначения, оптимизации стоимости и обоснования заданных требований для обеспечения работоспособного состояния и надежности. В результате применения методики может быть запущен итерационный цикл процедур конструирования для достижения оптимальных результатов выполнения проектно-конструкторских работ.

### Ключевые слова

*Летательный аппарат, корпус головного антенного обтекателя, теория решения изобретательских задач, функционально-стоимостной анализ, конструкторско-технологический анализ надежности*

Приведены результаты комплексной верификации  
проектно-конструкторских решений на примере Поступила 02.05.2024  
корпуса радиопрозрачного головного антенного Принята 03.09.2024  
обтекателя летательного аппарата © Автор(ы), 2025

---

**Введение.** Проектирование сложных технических систем требует применения проектно-конструкторских решений, направленных на достижение приемлемых финансово-экономических результатов, необходимых показателей надежности изделий и заданных целей служебного назначения. Использование эмпирического обобщения опыта и традиций в этом случае не всегда позволяет достичь оптимального результата [1–5].

Примером неоптимального использования одного лишь обобщенного опыта в инженерной деятельности является проектирование зданий в сейсмоопасных регионах. Для повышения устойчивости конструкции к землетрясениям необходимо укреплять ее фундамент, однако инженерная практика показывает, что для повышения виброустойчивости системы необходимо ввести в нее демпфирование и гибкие связи, что позволит нивелировать влияние вибраций от тектонических плит на фундамент здания.

В настоящей работе рассмотрен пример комплексной верификации результата разработки корпуса головного антенного обтекателя летательного аппарата (ЛА) из радиопрозрачных материалов, требующей решения противоречивых инженерных задач, удовлетворяющих сложному комплексу противоречивых требований: аэродинамических, термических, механических, радиотехнических, и увязки этих решений с заданными финансовыми требованиями и надежностью.

**Решение задач служебного назначения.** При разработке конструкции корпуса головного антенного обтекателя ЛА из радиопрозрачных материалов необходимо применять нестандартные конструкторско-технологические решения, которые в значительной степени определяют стоимость и надежность изделия [6, 7].

Для выполнения задач служебного назначения хорошо подходит теория решения изобретательских задач (ТРИЗ, разработчик метода Г.С. Альтшуллер), позволяющая находить оптимальные технические решения, в частности, рассматривается использование радиопрозрачного материала в сочетании с обычными конструкционными материалами и способами сборки [8–11]. Достижение приемлемых финансово-экономических характеристик обеспечивается с помощью функционально-стоимостного анализа (ФСА), основанного на соизмеримости степени важности решения функциональных задач и стоимости проведения технологических операций по изготов-

лению и сборке изделий [12–14]. В последнее время появилась методика конструкторско-технологического анализа надежности (КТАН), позволяющая конструктору принимать обоснованные решения для достижения заданной работоспособности и надежности разрабатываемых изделий ракетно-космического назначения [15–19].

Метод ТРИЗ принципиально отличается от метода проб и ошибок. Его основное назначение при поиске решения технических задач — выявление скрытых в системах противоречий и их разрешение путем качественного скачка, т.е. появления принципиально новой идеи, конструкции. Пример новой идеи разрешения технических противоречий приведен Г.С. Альтшуллером. Поставлена задача об обнаружении утечек в системе подачи криогенной жидкости в холодильном агрегате. Для ее решения необходимо сформулировать идеальный конечный результат — в видимой области наблюдателя должна быть только утечка криогенной жидкости. Для достижения такого результата необходимо добавить в жидкость люминофорные частицы и установить холодильную установку в темном помещении. Этот пример указывает на то, что для решения сложных технических задач необходимо не просто исправлять очевидные недочеты, а стремиться к глубокому пониманию системы и использованию нестандартных подходов, которые позволят обнаружить и устранить фундаментальные противоречия. Логика поиска новых технических решений в ТРИЗ отражает диалектику развития технических систем: вместо улучшения существующих количественных характеристик системы назначаются принципиально новые качественные характеристики. Концепцию метода ТРИЗ можно представить в виде диаграммы (рис. 1).

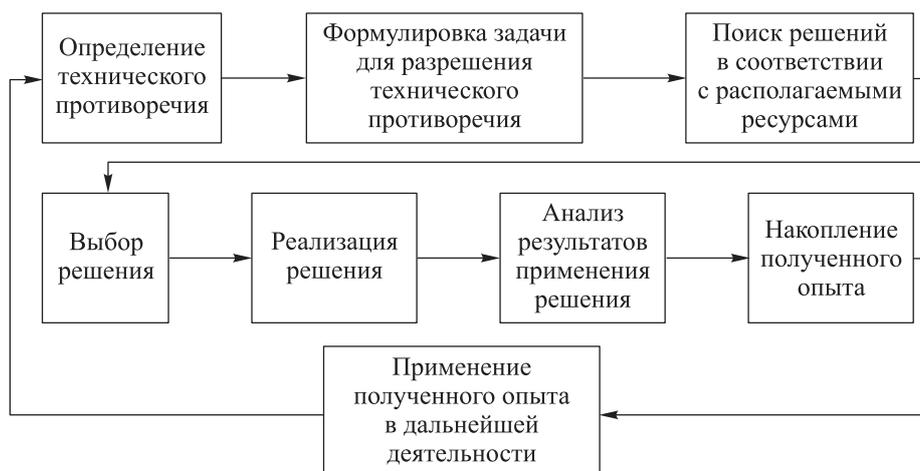


Рис. 1. Концепция метода ТРИЗ

Процесс разрешения технических противоречий цикличен, а использование принципов ТРИЗ указывает на их наибольшую эффективность в процессе непрерывной работы как с применением обобщенного конструкторского опыта, так и с новыми положениями, найденными по мере решения поставленных задач. Однако специфика предприятий ракетно-космической отрасли не всегда позволяет эффективно обмениваться информацией и накапливать опыт проектантов смежных организаций.

Составными элементами современного метода ТРИЗ являются алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), система стандартов на решение изобретательских задач, вепольный анализ, банк типовых приемов устранения технических и физических противоречий, указатели применения физических, химических и геометрических эффектов.

Эффективным инструментом в работе конструктора также является ФСА, основные теоретические положения которого разработаны практически одновременно Ю.М. Соболевым (СССР) и Л. Майлзом (США). Метод Соболева, получивший название «поэлементный анализ», направлен преимущественно на поиск наиболее экономичных способов изготовления изделия в рамках существующей конструкции и на отработку изделия на технологичность.

Метод Майлза, названный «инженерно-стоимостной анализ», позволял взять за основу рассмотрения конструкции комплекс функций, для выполнения которых данная конструкция предназначалась, и искать альтернативные варианты выполнения необходимых функций.

Составными элементами современного ФСА являются поэлементный анализ, комплексный технико-экономический анализ производства, научные методы поиска новых технических решений.

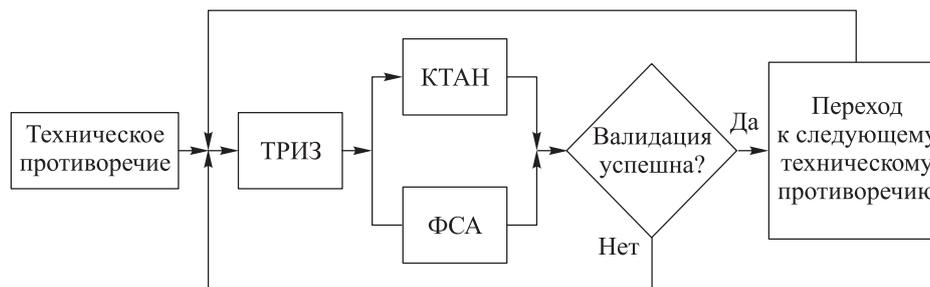
Методика КТАН — сравнительно новый инструмент аналитической верификации высокоответственных изделий ракетно-космического назначения. Конечная цель его применения — достижение заданной работоспособности и надежности разрабатываемых изделий и, следовательно, повышение качества конструкторской документации как набора конкретных требований к изготовлению и эксплуатации изделия.

Основная задача КТАН — определение функциональности и служебного назначения конструкции в целом, выполнение дальнейшего анализа отказов ее систем как событий, препятствующих выполнению требуемых функций, в целях их устранения и повышения надежности.

Согласно методике КТАН, надежность определяется как свойство системы сохранять во времени выполнение требуемых функций в заданных

режимах и условиях эксплуатации за время работы изделия. Задача конструктора, используя этот инструмент, обеспечить определение изменяемых параметров функциональности в заданных диапазонах работоспособности.

Схематично проектирование нового высокоответственного изделия путем разрешения возникающих технических противоречий приведено на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема проектирования высокоответственного изделия путем разрешения возникающих технических противоречий

Рассмотрим возможность совместного применения методов ТРИЗ, ФСА и методики КТАН в процессе проектно-конструкторских решений для комплексного обоснования стоимости и надежности на примере корпуса радиопрозрачного головного антенного обтекателя ЛА.

**Постановка задачи конструирования корпуса обтекателя.** Оптимальное решение задачи должно привести к такой конструкции корпуса обтекателя, при которой наряду с обтекаемыми аэродинамическими формами, достаточными механической прочностью, термостойкостью и стойкостью к воздействию климатических факторов он оказывал бы минимальное влияние на характеристики излучения антенны.

При выборе материала конструкции антенного обтекателя учитываются следующие основные характеристики:

- температурный диапазон функционирования материалов, который должен соответствовать условиям эксплуатации;
- параметры прочности должны позволять конструкции функционировать под воздействием температурных и аэродинамических нагрузок от набегающего воздушного потока на всех этапах функционирования изделия;
- высокая эрозионная стойкость к набегающему потоку воздуха;
- высокие теплоизолирующие свойства, в том числе низкая теплопроводность и достаточная теплоемкость для недопущения роста темпе-

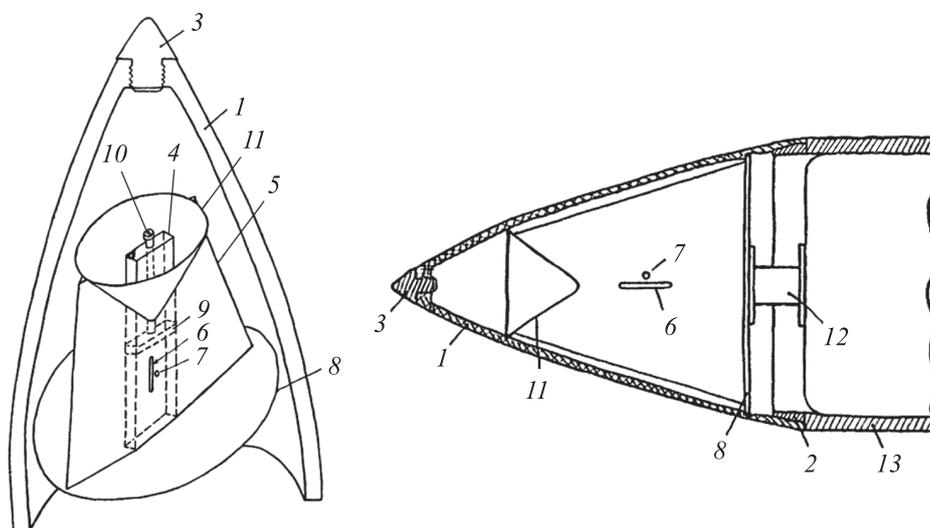
ратуры внутри конструкции и повреждения радиотехнической аппаратуры;

- радиотехнические свойства, не допускающие значительных искажений радиоволн заданного спектра и ослабления мощности электромагнитного потока, излучаемого антенной;
- технологические свойства материалов, заключающиеся в возможности изготовления изделия без значительных затрат;
- приемлемая стоимость и доступность материалов.

Наиболее перспективными материалами, удовлетворяющими перечисленным характеристикам, являются керамические материалы, стеклопластики, органопластики. По совокупности свойств, включая технологичность и стоимость материала, наиболее распространенным композиционным материалом для радиопрозрачных изделий является стеклопластик.

Рассмотрим систему антенна–обтекатель [20], содержащую однослойную стенку из диэлектрического материала в форме колпака, снабженного узлом крепления к ЛА и эрозионностойкий металлический наконечник.

Радиопрозрачный головной антенный обтекатель (рис. 3) относится к группе обтекателей, устанавливаемых в носовой части высокоскоростных ЛА и имеющих форму вытянутого тела вращения с обивальной образующей. Такие обтекатели подвержены наибольшему механическому



**Рис. 3.** Конструктивная схема корпуса радиопрозрачного антенного обтекателя [20]:

- 1 — колпак; 2 — узел крепления к ЛА; 3 — металлический наконечник; 4 — волновод;  
5 — перегородка; 6 — щель; 7 — штырь; 8 — отражающий диск; 9 — поршень;  
10 — винт; 11 — конусный отражатель; 12 — переходник; 13 — корпус ЛА

и термическим нагрузкам и должны при этом удовлетворять жестким радиотехническим требованиям.

Приведем элементы конструкции корпуса радиопрозрачного антенного обтекателя [20], работающие на обеспечение прочности, технологичности и надежности:

- открытый с двух сторон неметаллический колпак (оболочка), что упрощает технологию его изготовления;

- эрозионностойкий металлический наконечник (носок), устанавливаемый в отверстие в носовой части колпака (оболочки), что повышает надежность конструкции, так как наконечник (носок) способен воспринимать механические и термические нагрузки, действующие в полете на высокоскоростной ЛА;

- заплечик для упора в передний торец колпака (оболочки) на наконечнике (носке), что ограничивает его перемещение и обеспечивает правильное позиционирование наконечника относительно теоретического обвода изделия;

- выход передней части наконечника (носка) на теоретический обвод ЛА и наличие плавного сопряжения с внешней поверхностью колпака (оболочки), также выходящей на теоретический обвод ЛА;

- резьба на задней части наконечника (носка) для его крепления на колпаке (оболочке).

Рассмотрим недостатки корпуса антенного обтекателя [20]:

- приведенное на рис. 3 техническое решение — резьба в неметаллическом колпаке (оболочке) — является нетехнологичным и уменьшает надежность конструкции по условиям прочности;

- не приведено решение, позволяющее навинчивать по резьбе наконечник (носок), имеющий гладкую переднюю часть;

- отсутствует способ контроля наконечника (носка) относительно колпака (оболочки);

- задний плоский торец наконечника (носка) приводит к отрицательному влиянию обратного излучения электромагнитной волны, отраженной от него, на радиотехнические характеристики установленной под колпаком (оболочкой) антенной системы при ее функционировании в режиме осевого излучения и сканировании по углу (отклонение луча диаграммы направленности).

Согласно методу ТРИЗ, решить изобретательскую задачу значит выявить и устранить техническое противоречие. Техническое противоречие возникает, если попытка улучшения одной части (функции, свойства)

системы путем использования известных в технике средств приводит к недопустимому ухудшению других частей (функций, свойств) системы.

**Результаты исследования.** В ходе анализа недостатков антенного обтекателя [20] установлены следующие технические противоречия.

1. Носок имеет резьбовую часть для крепления к оболочке. Ответная резьба в неметаллической оболочке уменьшает прочность и надежность конструкции.

2. Металлический носок должен быть гладким с плавными обводами для обеспечения требований по аэродинамике ЛА. Однако металлический носок на внешней поверхности должен содержать элементы конструкции, позволяющие закручивать носок по резьбе, а это ухудшает аэродинамику ЛА.

3. Необходимо обеспечить контровку резьбового соединения носок–оболочка. Введение контровки в конструкцию приведет к снижению технологичности изготовления и сборки, а по ряду способов контровки — еще и к снижению прочности и надежности конструкции, учитывая в том числе различные коэффициенты теплового расширения соединяемых деталей.

4. Задний торец металлического носка не должен влиять на радиотехнические характеристики антенны. Однако он расположен перпендикулярно оси оболочки, что приводит к отрицательному влиянию обратного излучения электромагнитной волны, отраженной от него, на радиотехнические характеристики установленной под оболочкой антенной системы при ее функционировании в режиме осевого излучения и сканировании по углу (отклонение луча диаграммы направленности).

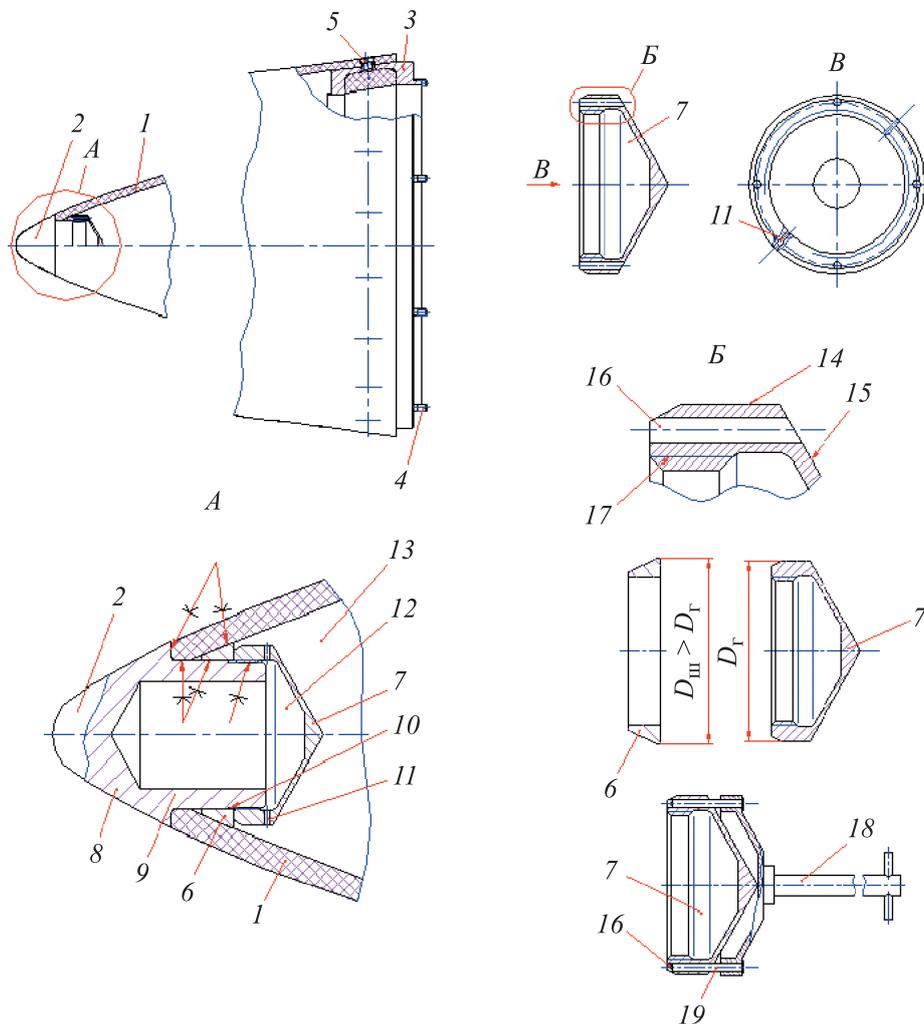
Для разрешения технических противоречий конструкции корпуса головного антенного обтекателя ЛА использована схема проектирования при разрешении технических противоречий (см. рис. 2). Технические решения, полученные с помощью метода ТРИЗ и позволяющие обеспечить достижение изделием задач служебного назначения, служат исходными данными для проведения последующих анализов — оптимизации стоимости с помощью ФСА и обоснования заданных требований для обеспечения работоспособного состояния и надежности с помощью методики КТАН.

Результаты комплексного анализа с использованием ТРИЗ, ФСА и КТАН приведены в таблице. По результатам получено техническое решение корпуса радиопрозрачного головного антенного обтекателя ЛА (рис. 4).

**Результаты комплексного анализа с использованием ТРИЗ, ФСА и КТАН**

ТРИЗ	ФСА	КТАН
<p>Отверстие в оболочке необходимо сделать гладким, а резьбовое отверстие перенести в другую деталь, например, ввести металлическую гайку, наворачиваемую на носок с внутренней стороны оболочки</p>	<p>Резьбовое отверстие в неметаллической оболочке является нетехнологичным, что приводит к большому трудозагратам. Решение с использованием ТРИЗ позволит сократить трудозагратаы, так как данное решение технологичное, связанное с механической обработкой металлических деталей</p>	<p>Резьба в неметаллической оболочке является ненадежным элементом конструкции, влияющим на работоспособность и прочность изделия в целом. Решение с использованием ТРИЗ и ФСА позволит создать резьбовое соединение деталей из металла, отвечающее критериям прочности и надежности</p>
<p>Часть металлического носка, выходящую на теоретический обвод ЛА, оставить гладкой, а фиксацию носка от проворота перед навинчиванием гайки обеспечить, например, приклеив носок к оболочке по заплечичику и посадочному месту</p>	<p>Исходная конструкция нетехнологична в плане выполнения операции завинчивания носка в резьбовое отверстие оболочки и требует дополнительных решений, связанных с трудозагратами и качеством ухудшением конструкции по ряду показателей. Решение с использованием ТРИЗ обеспечит минимальную трудоемкость операции завинчивания, так как будут применены технологические операции, хорошо отработанные в производстве</p>	<p>Исходная конструкция не позволяет качественно выполнить операцию завинчивания носка по резьбе в оболочке, а значит, не обеспечивает надежность соединения винт-гайка. Решение с использованием ТРИЗ и ФСА обеспечит надежную фиксацию носка от проворота, достаточно расчитать необходимую площадь приклейки</p>

<p>Контровка резьбового соединения в исходной конструкции практически невозможна из-за разности коэффициентов теплового расширения носка и оболочка. При переходе к соединению носок-металлическая гайка можно ввести контровочку клеём по резьбе этих деталей</p>	<p>Исходная конструкция не позволяет выполнить операцию контровки. Решение с использованием ТРИЗ позволит обеспечить контровку с минимальными трудозатратами и без введения дополнительных элементов конструкции</p>	<p>Исходная конструкция ненадежна, так как имеется резьбовое соединение деталей с разными коэффициентами теплового расширения. Решение с использованием ТРИЗ и ФСА позволит обеспечить надежную контровку носка и гайки, поскольку они выполнены из одного материала</p>
<p>В исходной конструкции торец носка приводит к отрицательному влиянию обратного излучения электромагнитной волны. При использовании металлической гайки можно задний торец гайки выполнить закрытым или гладким, а также конической формы, чтобы отклонять отраженные лучи в бок</p>	<p>В исходной конструкции задний торец металлического носка отрицательно влияет на радиотехнические характеристики антенной системы. Решение с использованием ТРИЗ позволит повысить эффективность антенной системы, при этом у гайки имеется дополнительная функция — отражение излучения электромагнитной волны в бок. Таким образом, проблема решается без введения дополнительных конструктивных элементов</p>	<p>Исходная конструкция уменьшает эффективность и надежность антенной системы из-за отрицательного влияния обратного излучения электромагнитной волны. Решение с использованием ТРИЗ и ФСА позволит повысить надежность работы антенной системы ЛА</p>



**Рис. 4.** Корпус радиопрозрачного головного антенного обтекателя ЛА:

- 1 — оболочка; 2 — носок; 3 — штангоут; 4 — крепеж; 5 — элементы крепления;  
 6 — шайба; 7 — гайка; 8 — передняя часть носка; 9 — опорная часть носка; 10 — резьба;  
 11 — сквозные отверстия; 12, 13 — полости; 14 — боковая поверхность;  
 15 — задняя стенка; 16 — отверстие; 17 — резьба; 18 — штанга; 19 — штырь

Оболочка антенного обтекателя ЛА выполнена из радиопрозрачного композиционного материала на основе стеклопластика и имеет по переднему торцу сквозное гладкое отверстие.

Носок выполнен из жаропрочного и эрозионно-стойкого металла и имеет переднюю и опорную части. Передняя часть носка выполнена гладкой с внешним обводом, продолжением которого является внешний контур оболочки. Выступающая внутрь оболочки опорная часть носка имеет резьбу для крепления носка к оболочке с помощью шайбы и гайки.

Стыковой шпангоут установлен со стороны заднего торца оболочки и жестко соединен с корпусом ЛА шпильками, а с оболочкой — элементами крепления.

Шайба по внешней опорной поверхности выполнена конической с максимальным приближением к профилю внутренней поверхности оболочки, а максимальный наружный диаметр шайбы больше наружного диаметра гайки ( $D_{ш} > D_{г}$ , см. рис. 4), поэтому гайка при завинчивании не распирает оболочку и доводит шайбу до упора в оболочку.

Гайка по внешней боковой поверхности цилиндрическая и имеет замыкающую заднюю стенку в форме конуса со сквозными технологическими отверстиями. Цилиндрическая форма внешней боковой поверхности позволяет выполнить гайку с габаритными размерами, не более габаритных размеров шайбы. Задняя стенка в форме конуса способствует снижению влияния обратного излучения электромагнитной волны, отраженной от носка, на радиотехнические характеристики установленной под оболочкой антенной системы при ее функционировании в режиме осевого излучения и сканировании по углу (отклонение луча диаграммы направленности). На боковой поверхности гайки расположены сквозные отверстия для сообщения замкнутой полости, образованной носком и гайкой с полостью оболочки. При аэродинамическом нагреве температура в замкнутой полости повышается, что приводит к увеличению давления в этой полости, поэтому отверстия служат для выравнивания давлений в полостях.

Носок приклеен к оболочке по ее переднему торцу и поверхности контакта с оболочкой. Таким образом, носок зафиксирован от вращения, что позволяет после установки шайбы навинчивать гайку по резьбе носка.

Для навинчивания гайки используется приспособление в виде штанги, которая своими штырями входит в сквозные технологические отверстия гайки, обеспечивая ее навинчивание и приклейку по резьбе носка.

На техническое решение по корпусу головного антенного обтекателя, созданное в результате комплексного анализа с помощью ТРИЗ, ФСА и КТАН, получен патент [21].

**Заключение.** В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод, что метод ТРИЗ, ФСА, методика КТАН — эффективные инструменты, предназначенные прежде всего для инженеров-конструкторов. Их эффективность значительно возрастает при совместном использовании, позволяя не только решать конструкторские задачи на изобретательском уровне, но и обеспечивать целевые задачи любого проекта — достижение заданных требований по стоимости разработки и надежности разрабатываемого изделия.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Conley P.L. Space vehicle mechanisms. New York, John Wiley & Sons, 1998.
- [2] Джонс Дж.К. Методы проектирования. М., Мир, 1986.
- [3] Рот К. Конструирование с помощью каталогов. М., Машиностроение, 1995.
- [4] Краузе В. Конструирование приборов. М., Машиностроение, 1987.
- [5] Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. М., Мир, 1981.
- [6] Каплун В.А. Обтекатели антенн СВЧ. М., Советское радио, 1974.
- [7] Жидкова О.Г., Бородавин А.В., Митюшкина Д.В. и др. Проектирование радиопрозрачных конструкций из композиционных материалов. *Конструкции из композиционных материалов*, 2020, № 1, с. 6–12.
- [8] Altshuller G. The innovation algorithm. Worcester, Technical Innovation Center, 1999.
- [9] Чяпяле Ю.М. Методы поиска изобретательских идей. Л., Машиностроение, 1990.
- [10] Коновалов А.А. Логика изобретения. Ижевск, Удмуртия, 1990.
- [11] Голдовский Б.И., Вайнерман М.И. Комплексный метод поиска решений технических проблем. М., Речной транспорт, 1990.
- [12] Ершова И.В., Прилуцкая М.А., Мурукина А.Д. Модернизация метода функционально-стоимостного анализа в условиях цифровой трансформации промышленности. *Организатор производства*, 2021, т. 29, № 4, с. 35–47.  
DOI: <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.15.23.004>
- [13] Голибардов Е.И., Кудрявцев А.В., Синенко М.И. Техника ФСА. Киев, Тэхника, 1989.
- [14] Моисеева Н.К. Функционально-стоимостной анализ в машиностроении. М., Машиностроение, 1987.
- [15] Похабов Ю.П. Теория и практика обеспечения надежности механических устройств одноразового срабатывания. Красноярск, СФУ, 2018.
- [16] Похабов Ю.П. Метод проектирования и конструирования механизмов космического назначения с заданной надежностью. *Надежность*, 2023, т. 23, № 2, с. 26–38.  
DOI: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-2-26-38>
- [17] Похабов Ю.П., Каверин В.А., Белов М.В. и др. Результаты конструкторско-технологического анализа надежности толкателя головного обтекателя. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, № 5.  
DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-5-2273>
- [18] Похабов Ю.П. Некоторые выводы по результатам применения конструкторско-технологического анализа надежности для изделий ракетно-космического назначения. Часть 1. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, № 8.  
DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-8-2297>

[19] Похабов Ю.П. Некоторые выводы по результатам применения конструкторско-технологического анализа надежности для изделий ракетно-космического назначения. Часть 2. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, № 9.

DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-9-2304>

[20] Светлов В.Г., Филиппов В.С., Минокин Л.М. и др. Система «Антенна-обтекатель». Патент РФ 2096869. Заявл. 17.05.1996, опубл. 20.11.1997.

[21] Дергачев А.А., Каверин В.А., Налиткин О.Н. и др. Корпус головного антенного обтекателя летательного аппарата и способ его сборки. Патент РФ 2823544. Заявл. 09.10.2023, опубл. 24.07.2024.

**Похабов Юрий Павлович** — канд. техн. наук, главный специалист АО «НПО ПМ МКБ» (Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Ленина, д. 55А).

**Каверин Виктор Александрович** — заместитель начальника отделения, начальник комплексного конструкторского отдела АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

**Сапарбаева Екатерина Рустамовна** — инженер АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

**Шиповалов Матвей Витальевич** — техник АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

**Политов Дмитрий Павлович** — техник АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Похабов Ю.П., Каверин В.А., Сапарбаева Е.Р. и др. Комплексный подход к верификации разработки корпуса головного антенного обтекателя. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2025, № 3 (154), с. 54–70. EDN: SGSHCI

**COMPREHENSIVE APPROACH TO VERIFICATION IN DESIGN  
AND DEVELOPMENT OF THE ANTENNA HEAD FAIRING BODY**

**Yu.P. Pokhabov<sup>1</sup>**

[pokhabov\\_yury@mail.ru](mailto:pokhabov_yury@mail.ru)

**V.A. Kaverin<sup>2</sup>**

**E.R. Saparbaeva<sup>2</sup>**

**M.V. Shipovalov<sup>2</sup>**

**D.P. Politov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>JSC “NPO PM Small Design Bureau”, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Region,  
Russian Federation

<sup>2</sup>JSC “MIC “NPO Mashinostroyenia”, Reutov, Moscow Region,  
Russian Federation

## Abstract

Design of complex technical systems in the rocket and space applications requires using the solutions aimed at achieving the specified operation objectives, acceptable financial and economic design results and the required reliability indicators of the products. To achieve the optimal design result, it is necessary to verify comprehensively the design solutions. The paper considers combined application of the theory of solving the inventive problems, functional cost analysis, and design and technological reliability analysis as one of the approaches to verification. Functional analysis lies in the basis of implementing all the three methods; it helps to represent the design as a set of the required functions. This technique makes it possible to abstract from the design solutions and describe any design in a form convenient for analysis enabling the designer to find acceptable solutions in achieving the product operation objectives, optimizing the costs, and justifying the specified requirements to ensure operability and reliability. Results of each analysis technique could serve as a reason for conducting the design procedures iterative cycle to achieve optimal results in design and development. The paper presents results of comprehensive verification of the design and development solutions using an example of the aircraft antenna radio-transparent head fairing body

## Keywords

*Aircraft, antenna head fairing body, theory of solving inventive problems, functional cost analysis, design and technological reliability analysis*

Received 02.05.2024

Accepted 03.09.2024

© Author(s), 2025

---

## REFERENCES

- [1] Conley P.L. Space vehicle mechanisms. New York, John Wiley & Sons, 1998.
- [2] Jones J.C. Design methods. New York, John Wiley & Sons, 1982.
- [3] Roth K. Konstruieren Mit Konstruktionskatalogen. Berlin, Springer-Verlag, 1994.
- [4] Krause W. Gerätekonstruktion. Berlin, VEB Verlag-Technik, 1982.
- [5] Dietrych J. System i konstrukcja. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1978.
- [6] Kaplun V.A. Obtekateli antenn SVCh [Microwave antenna fairings]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1974.
- [7] Zhidkova O.G., Borodavin A.V., Mityushkina D.V., et al. Designing of radio-transparent constructions from composite materials. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov* [Composite Materials Constructions], 2020, no. 1, pp. 6–12 (in Russ.).
- [8] Altshuller G. The innovation algorithm. Worcester, Technical Innovation Center, 1999.

- [9] Chyapyale Yu.M. *Metody poiska izobretatelskikh idey* [Methods for searching for inventive ideas]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1990.
- [10] Konovalov A.A. *Logika izobreteniya* [Logic of invention]. Izhevsk, Udmurtiya Publ., 1990.
- [11] Goldovskiy B.I., Vaynerman M.I. *Kompleksnyy metod poiska resheniy tekhnicheskikh problem* [A comprehensive method for solving technical problems]. Moscow, Rechnoy transport Publ., 1990.
- [12] Ershova I.V., Prilutskaya M.A., Murukina A.D. Modernization of the method of functional and cost analysis in the conditions of digital transformation of industry. *Organizator proizvodstva* [Production Organizer], 2021, vol. 29, no. 4, pp. 35–47 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.15.23.004>
- [13] Golibardov E.I., Kudryavtsev A.V., Sinenko M.I. *Tekhnika FSA* [FSA technique]. Kiev, Tekhnika Publ., 1989.
- [14] Moiseeva N.K. *Funktsionalno-stoimostnoy analiz v mashinostroenii* [Functional and cost analysis in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987.
- [15] Pokhabov Yu.P. *Teoriya i praktika obespecheniya nadezhnosti mekhanicheskikh ustroystv odnorazovogo srbatyvaniya* [Theory and practice of ensuring the reliability of single-use mechanical devices]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2018.
- [16] Pokhabov Yu.P. Method for designing and developing space mechanisms with specified dependability. *Nadezhnost* [Dependability], 2023, vol. 23, no. 2, pp. 26–38 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-2-26-38>
- [17] Pokhabov Yu.P., Kaverin V.A., Belov M.V., et al. Results of reliability design and technological analysis of the nose fairing pusher. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2023, no. 5 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-5-2273>
- [18] Pokhabov Yu.P. Certain conclusions on results of introducing the reliability design and technological analysis in rocket and space production. Part 1. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2023, no. 8 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-8-2297>
- [19] Pokhabov Yu.P. Certain conclusions on results of introducing the reliability design and technological analysis in rocket and space production. Part 2. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2023, no. 9 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-9-2304>
- [20] Svetlov V.G., Filippov V.S., Minokin L.M., et al. Sistema “Antenna–obtekatel” [“Antenna-dome” system]. Patent RU 2096869. Appl. 17.05.1996, publ. 20.11.1997 (in Russ.).
- [21] Dergachev A.A., Kaverin V.A., Nalitkin O.N., et al. Korpus golovnogo antennogo obtekatelya letatel'nogo apparata i sposob ego sborki [Aircraft head antenna radome housing and method of its assembly]. Patent RU 2823544. Appl. 09.10.2023, publ. 24.07.2024 (in Russ.).

**Pokhabov Yu.P.** — Cand. Sc. (Eng.), Chief Specialist, JSC “NPO PM Small Design Bureau” (Lenina ul. 55A, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Region, 662972 Russian Federation).

**Kaverin V.A.** — Deputy Division Head of the Department, Head of the Department of Integrated Design, JSC “MIC “NPO Mashinostroyenia” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143960 Russian Federation).

**Saparbaeva E.R.** — Engineer, JSC “MIC “NPO Mashinostroyenia” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143960 Russian Federation).

**Shipovalov M.V.** — Technician, JSC “MIC “NPO Mashinostroyenia” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143960 Russian Federation).

**Politov D.P.** — Technician, JSC “MIC “NPO Mashinostroyenia” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143960 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Pokhabov Yu.P., Kaverin V.A., Saparbaeva E.R., et al. Comprehensive approach to verification in design and development of the antenna head fairing body. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2025, no. 3 (154), pp. 54–70 (in Russ.). EDN: SGSHCI