

ПРОБЛЕМЫ КОМПОНОВКИ ЖРД В РАКЕТНУЮ СТУПЕНЬ

Намятов В.Ф., Малов А.В.
ВКБ РКК «Энергия», г. Самара

С целью эффективного использования технических и финансовых средств в процессе создания и получения высоких энергетических характеристик РН, а также для обеспечения возможностей перспективного развития изделия в процессе оптимизации конструктивных параметров и модернизации ставятся следующие задачи:

- определение наилучших технических решений схемного и конструктивного исполнения, их внедрение на ранних стадиях разработки, исключение нерациональных решений;
- анализ технологичности конструкции, затрат на подготовку производства и трудоемкости изготовления и исследование возможностей их уменьшения;
- определение комплекса технических решений по элементам конструкции, агрегатам и блокам РН для окончательного формирования облика изделия и исходных данных в кратчайшие сроки;
- минимизация финансовых затрат на разработку РН и ее производство.

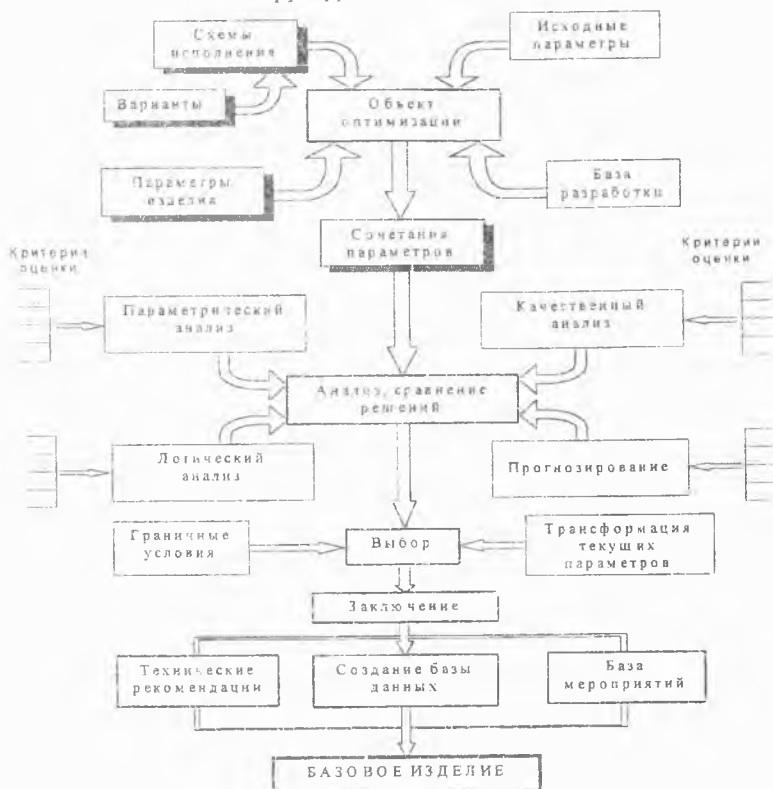
Для достижения основных целей оптимизации РН и получения достаточно достоверных и полных исходных данных для использования на последующих стадиях разработки устанавливаются следующие общие требования:

- выбор компоновочных и конструктивных решений по агрегатам, блокам по результатам комплексного анализа, включая качественный и параметрический анализ, анализ массы, технологичности, экономической эффективности;
- сравнительный анализ по массовым характеристикам различного конструктивного исполнения элементов, блоков РН.

В качестве базовых критериев оценки конструкции в порядке приоритетов принимаются:

- 1) Сухая масса конструкции блока, агрегата, отсека, узла.
- 2) Масса невыработанных компонентов топлива в баках и магистралях блоков, масса остающихся газов в конце работы ступеней (оценка по объемам расходных магистралей).
- 3) Плотность компоновки блоков, агрегатов, отсеков, степень изменения нагрузок на корпус.
- 4) Стоимость изготовления.
- 5) Коэффициенты использования материалов в конструкции.

Общая структурная схема оптимизации



6) Длительность цикла изготовления, трудоемкость.

7) Технологическая оснащенность производства и необходимые капиталовложения в производство.

В качестве комплексных критериев сравнения принимаются:

1) Масса выводимой на опорную орбиту полезной нагрузки.

2) Стоимость изготовления штатного образца изделия.

3) Суммарные затраты на создание изделия, включая затраты на ЛКИ, доработку СК и т.д.

4) Общая стоимость изготовления и эксплуатации изделия.

В качестве критериев общего анализа конструкции принимаются:

1) Технологичность конструкции и унификация элементов.

2) Удобство в эксплуатации.

3) Надежность и возможности парирования нештатных ситуаций.

4) Возможность дальнейшей модификации РН с целью улучшения характеристик, унификации, максимального использования стартового комплекса и т.д.

В процессе проектирования ракетных блоков в качестве базовых обычно выбираются ряд типоразмеров, связанных с теми или иными ограничениями:

- Диаметры баков, освоенные диаметры днищ и гладких обечаек, транспортировочные габариты;

- Длина блока из условий уровней стыков со стартовой системой или транспортировочных ограничений, ограничений по удлинению и т.п.;

По этим условиям разрабатывается несколько компоновочных схем, и по результатам анализа схем РН и блоков на этапах поисковых работ при разработке технических предложений и эскизного проекта выявляются возможности по оптимизации общей компоновочной схемы и облика блоков.

Исходя из этого анализа типоразмеров и схем предлагается вариант блока, который отличается соответствием наибольшего количества заданных критериев при удовлетворении преобладающего критерия по конечной массе блока и энергетическим возможностям.

Сравнение вариантов обычно показывает, что наибольший энергетический эффект дают блоки последних ступеней. Дополнительная масса сбрасываемых частей приводит к уменьшению массы полезного груза в соответствии с коэффициентом приведения, по сравнению с соответствующим уменьшением в варианте несбрасываемых частей последних ступеней. Таким образом, грузоподъемность РН по сравнению с вариантом несбрасываемых отсеков, как правило, больше, несмотря на усложнение этих частей и увеличение массы конструкции.

Сравнение технологичности блоков в различных вариантах исполнения с точки зрения возможности сборки, ремонтпригодности, в определенной мере характеризует предельные возможности компоновки по ограничению ее плотности.

Анализируется используемое оборудование для изготовления блока, необходимость освоения производства оболочек новых типоразмеров и соответствующие наладочные и ремонтно-восстановительные работы для гибочного, фрезерного, и сварочного крупногабаритного оборудования. По результатам анализа технологичности в случае необходимости вводятся корректировки в компоновочных решениях.

Основными направлениями совершенствования современных РН являются следующие:

- совершенствование двигательных установок и средств автоматики;

- совершенствование характеристик РН за счет применения конструктивных и технологических мероприятий, использования новых материалов и элементной базы систем;

- расширение функциональных свойств двигателей (возможность повторного запуска, работы в 50% режиме), возможность перевода двигателей на энергетически более выгодные компоненты топлива;

- создание новых средств выведения на основе заимствования ракетных модулей, систем и элементов базовых изделий, унификации блоков, использования инфраструктуры.

Совершенствование двигательных установок и средств автоматизации позволяет повысить надежность изделия в целом, а с повышением удельных характеристик двигателей - энергетические возможности РН.

К одному из примеров совершенствования двигателей можно отнести доводку двигателя НК-43 в части возможностей его работы на предельных режимах, что позволяет использовать на современных ракетных ступенях и обеспечивать энергетические возможности проектируемых РН.

У двигателя большие возможности формирования и применения в качестве маршевого двигателя с установкой его в кардановом подвесе. Конструкция блока с этим двигателем имеет достаточно высокие характеристики массового совершенства. Имея высокий удельный импульс около 346 с масса двигателя не превышает 1900 кг.

Анализ возможностей его модернизации показывает, что возможны варианты.

- Обеспечение управляемости РН отклонением его в двух плоскостях стабилизации и отбором газа на сопла крена.

- Установка двигателя на минимальном расстоянии от баков и обеспечение гибкой связи магистралей подачи компонентов интегрированными конструкциями.

- Обеспечение минимальных запасов по избыточному давлению в баках путем установки бустерного насоса окислителя.

Изменение компоновочной схемы блока в варианте двигательной установки на базе модернизированного двигателя НК-43М на различных этапах разработки изделия приведено на рис. 1.

В процессе совместных работ ВКБ РКК «Энергия» и СНТК им. Кузнецова первоначальная компоновочная схема трансформировалась путем нескольких итераций в схему с интегрированными трехзвенными расходными магистралями, объединяющими функции обеспечения перемещений как собственно элементов двигателя при отклонении его до 6° , так и перемещения между двигателем и днищем бака.

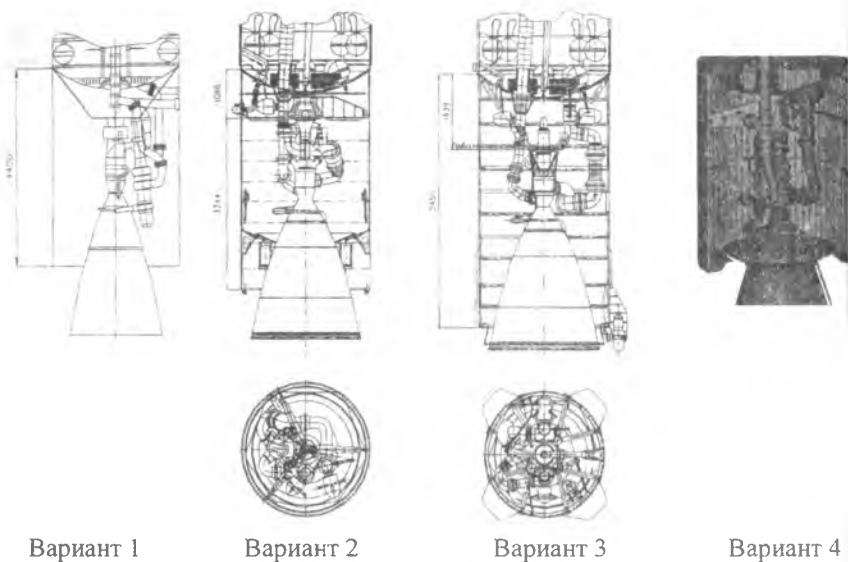


Рис. 1

Такое схемное решение позволило сократить длину хвостовой части блока, упростить конструкцию магистралей, минимизировать объем невыработанных компонентов, обеспечить технологичность сборки.

Анализ массовых характеристик такого варианта показал снижение массы блока до 400 кг, целесообразность использования такого двигателя на ракетных блоках и соответствие основным критериями оптимизации.

По результатам комплексной оптимизации компоновочных схем и вариантов исполнения конструкции блоков по остальным критериям, рекомендуется поэтапная разработка изделий и решение по внедрению.

Объемная компоновка двигателя НК-43М подтвердила возможности реализации этой схемы.

В ракетном блоке наиболее сложным решением является проблема оптимальной компоновки ЖРД в ракетную ступень.

Таким образом, выбор оптимальных компоновочных решений на ранних стадиях разработки позволяет сократить общие сроки проектирования и отработки, исключить нерациональные решения и минимизировать затраты.