

УДК 629.764.7

Н. П. Жук, А. А. Макаренко, Е. И. Шевцов

## О КОНСТРУКТИВНОМ СОВЕРШЕНСТВЕ РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ «ЦИКЛОН-4»

*Сравнение коэффициентов конструктивного совершенства ракет космического назначения показывает, что разработанная ГП «КБ «Южное» ракета-носитель "Циклон-4" имеет конструктивное совершенство на уровне лучших мировых образцов.*

*Порівняння коефіцієнтів конструктивної досконалості ракет космічного призначення показує, що розроблена ДП «КБ «Південне» ракета-носій «Циклон-4» має конструктивну досконалість на рівні кращих світових зразків.*

*The comparison of Integrated Launch Vehicles structural perfection coefficients shows that Yuzhnoye-developed Cyclone-4 launch vehicle has structural perfection at the best world rocket model level.*

Эффективность проектно-конструкторских решений ракет космического назначения (РКН) принято оценивать коэффициентом конструктивного совершенства [1]

$$\alpha_k = m_{\text{кон}}/m_T,$$

где  $m_{\text{кон}}$  – масса конструкции, остатков топлива и газов (пассивная масса);

$m_T$  – масса топлива на момент старта.

Этот обобщенный показатель интересен тем, что он демонстрирует достигнутый уровень проектно-конструкторских решений и производства. Сравнение коэффициента конструктивного совершенства собственных разработок с лучшими достижениями ракетостроения позволяет объективно оценить свое место в мировом рейтинге.

Для ракеты «Фау-2»  $\alpha_k = 0,34$ . Гигантский скачок технологий 60-х годов позволил создать РКН «Сатурн-5» с  $\alpha_k = 0,060 \dots 0,91$  для различных блоков. Примем это за исходный уровень.

### Совершенен ли «Циклон-4»?

На диаграммах (рис. 1-6) приведены коэффициенты конструктивного совершенства блоков РКН разработки ГП «КБ «Южное» «Циклон-4», «Зенит-2», «Антарес»

(ОКПС) и РКН известных мировых компаний.

РКН «Циклон-4», разработанная на базе РКН «Циклон-3» и боевой ракеты 8К67, имеет очень хорошие показатели мирового уровня как для I и II ступеней, так и для III ступени, являющейся разгонным блоком с многократным включением.

В конструкцию ракет 8К67 и «Циклон-3» был заложен целый ряд эффективных решений:

- стрингерные прессованные панели для корпусов баков;
- пустотелые шпангоуты;
- совместная «работа» шпангоутов баков горючего и хвостовых отсеков;
- горячий наддув баков и др.

РКН «Циклон-4» – экологически чистая, с автоматической стыковкой заправочно-сливных коммуникаций – практически не ухудшила показатели конструктивного совершенства ( $\alpha_k = 0,054$  и  $\alpha_k = 0,069$  для I и II ступеней соответственно). Третья ступень РКН «Циклон-4» – это первая разрабатываемая КБЮ разгонная ступень такого масштаба. При полученном показателе  $\alpha_k = 0,127$  (рис. 6) она имеет хорошие перспективы применения и на других РКН.

**Какой коэффициент конструктивного совершенства должен быть у РКН «Циклон-4М» и «Маяк-3.9»?**

При разработке новых РКН возникает необходимость создавать ракету наивысшего качества.

Если проанализировать диаграммы с коэффициентами конструктивного совершенства, то видно, что наилучшие показатели у ракет «Н-I» (Япония) и «Фалькон-9». Криогенные ракеты-носители разработки ГП «КБ «Южное» – «Зенит», «Таурус-II» (рис. 2, 4) имеют средние показатели конструктивного совершенства.

Разрабатываемая РКН «Маяк-СЗ.9» по своему облику и энергетическим характеристикам соответствует ракете «Фалькон-9», коэффициент  $\alpha_k$  для его второй ступени более чем в 2 раза ниже, чем у РН «Зенит-2», и вряд ли достижим в наших условиях без кардинального изменения материалов и технологии изготовления. Но вполне реально получить массовые характеристики, соответствующие хотя бы средним между достигнутыми для РН «Фалькон-9» и реализованными в разработанных ГП «КБ «Южное» ракетах «Таурус-II» и «Зенит»:

первая ступень –  $\alpha_k = 0,065$ ;

вторая ступень –  $\alpha_k = 0,075$ .

Для I ступени РКН «Циклон-4М», которая разрабатывается с применением технических решений, аналогичных решениям для РКН «Маяк-СЗ.9», следует стремиться к близкому с ним коэффициенту  $\alpha_k = 0,065$ .

Для II ступени РКН «Циклон-4М», которая разрабатывается на базе III ступени «Циклон-4» с доработками в части изменения технологии заправки, необходимо добиться сохранения имеющегося коэффициента конструктивного совершенства  $\alpha_k = 0,127$ .

### **Возможные пути совершенствования конструкции новых РКН**

Для достижения наилучших показателей конструктивного совершенства при разработке новых РКН необходимо провести следующие мероприятия, направленные на улучшение их массовых характеристик:

- оптимизация силового набора сухих отсеков и топливных баков;
- снижение давления в баках за счет введения бустерных насосов, повышения точности настройки предохранительных клапанов, снижения гидросопротивления магистралей и клапанов, совершенствования методик расчета;
- внедрение таких технологических мероприятий:
  - применение контактно-стыковой сварки и сварки трением с перемешиванием;
  - изготовление вафельного фона оболочки на нижнем допуске;
  - минимизация законцовок под сварные швы и увеличение коэффициента сварного шва  $>0,95$ ;
  - изготовление обечаек днищ и шпангоутов на современных обрабатывающих центрах;
  - применение закалки днищ;
  - ротационная вытяжка днищ;
  - увеличение прочности обечаек за счет нагартовки;
  - увеличение длин обечаек;
- уменьшение остатков компонентов топлива;
- снижение массы расходных магистралей, агрегатов автоматики, трубопроводов за счет применения высокопрочных материалов, увеличения числа алюминиевых труб и сильфонов;
- оптимизация пневмогидравлической системы за счет:
  - уменьшения количества баллонов наддува;
  - использования агрегатов автоматики под заданные параметры – диаметры проходных сечений магистралей, максимальные давления и т.п.;
  - введения редукторного регулирования давления на II ступени;
  - введения бустерных насосов;
- снижение массы авионики за счет:

– применения единой бортовой вычислительной машины для систем управления и измерения;

– снижения энергопотребления, введения двухпроводной кабельной сети системы измерения;

– оптимизации количества измеряемых параметров.

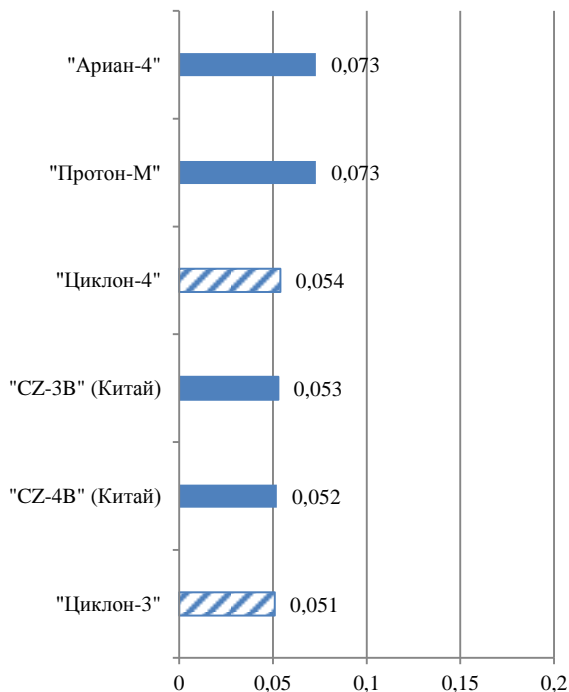


Рис. 1. Коэффициенты конструктивного совершенства первых ступеней РКН на высококипящих компонентах топлива

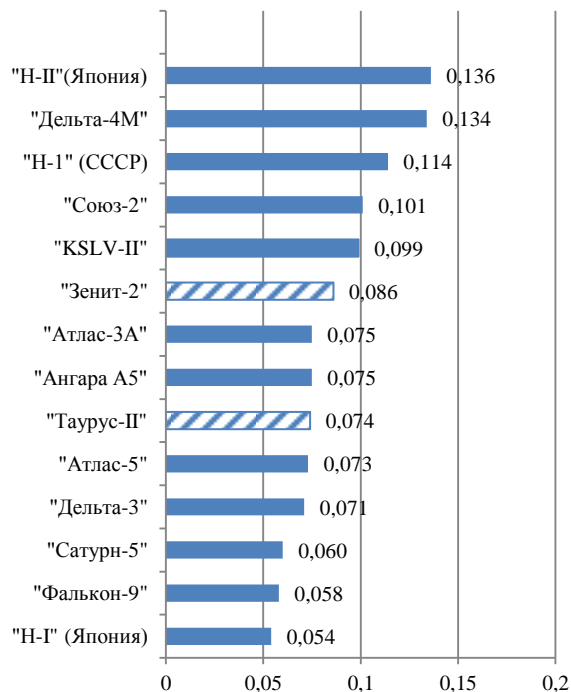


Рис. 2. Коэффициенты конструктивного совершенства первых ступеней РКН на криогенных компонентах топлива

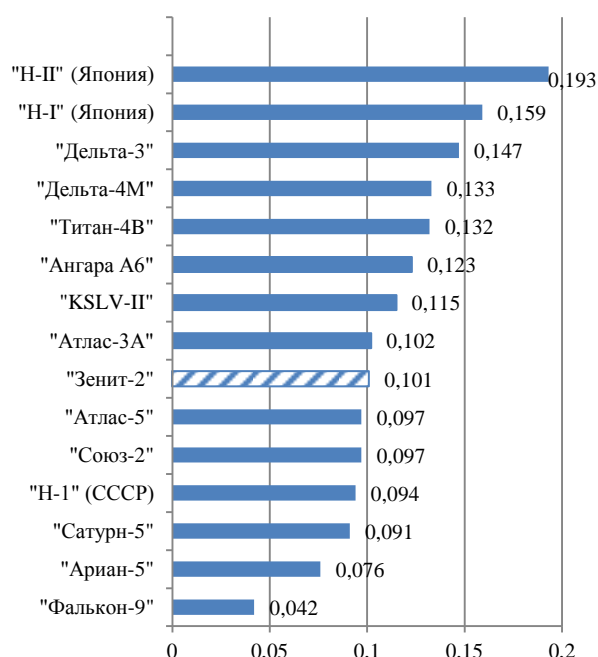
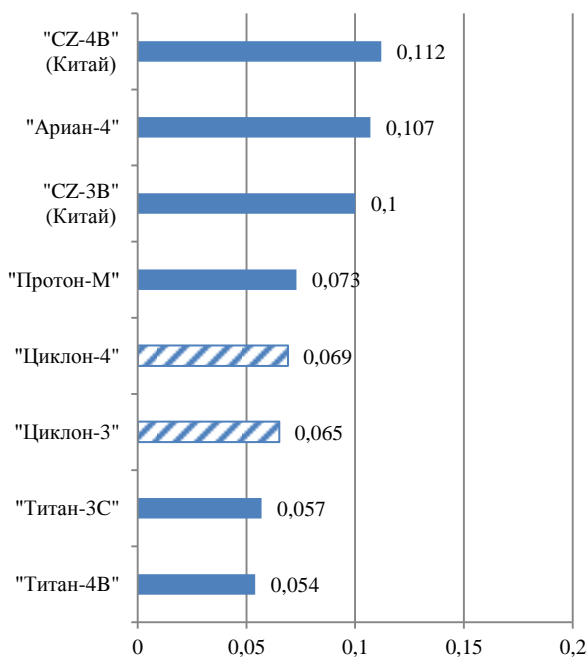


Рис. 3. Коэффициенты конструктивного совершенства вторых ступеней РКН на высококипящих компонентах топлива

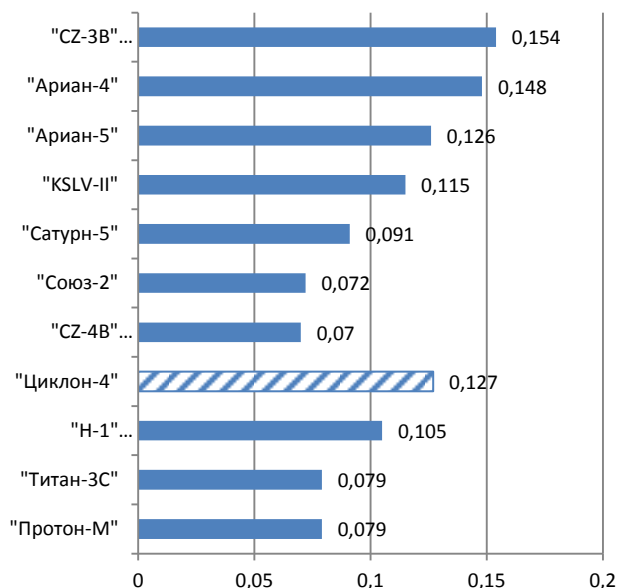


Рис. 5. Коэффициенты конструктивного совершенства третьих ступеней РКН

### К чему необходимо стремиться в новых разработках?

Проведя анализ коэффициентов конструктивного совершенства различных РКН, характеризующих эффективность проектно-конструкторских решений, можно сделать выводы:

– РКН «Циклон-4» имеет показатели конструктивного совершенства на уровне лучших мировых достижений. Третья ступень РКН «Циклон-4» имеет хорошие перспективы и может быть базовой для разработки РБ новых РКН.

– Для РКН новой разработки «Циклон-4М», «Маяк-3.9» необходимо обеспечить показатели конструктивного совершенства не хуже:

- первая ступень –  $\alpha_k = 0,065$ ,
- вторая ступень –  $\alpha_k = 0,075$  или  $\alpha_k = 0,127$  для разгонного блока.

Рис. 4. Коэффициенты конструктивного совершенства вторых ступеней РКН на криогенных компонентах топлива

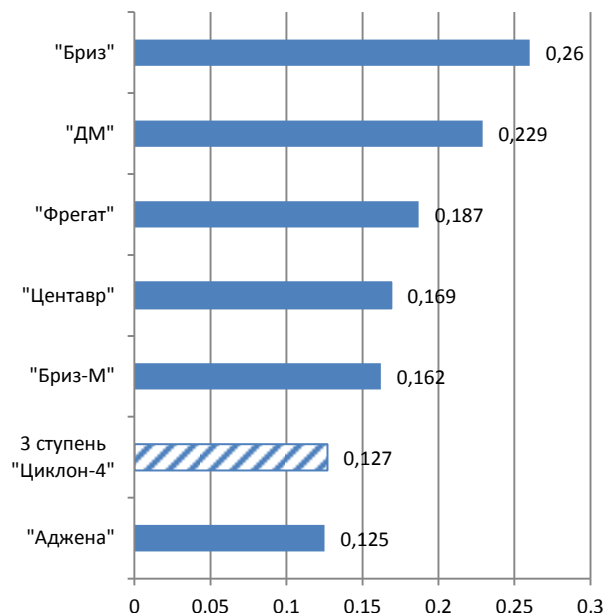


Рис. 6. Коэффициенты конструктивного совершенства разгонных блоков РКН

### Список использованной литературы

1. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов / Под ред. В. П. Мишина. – М.: Машиностроение, 1991. – 415 с.
2. Кобелев В. Н., Милованов А. Г. Ракеты-носители: Учеб. пособие. – М.: Моск. гос. авиац. технол. ун-т, 1993. – 185 с.
3. Уманский С. П. Ракеты-носители. Космодромы. – М.: Рестарт, 2001. – 216 с.
4. Кобелев В. Н., Милованов А. Г. Средства выведения космических аппаратов. – М.: Рестарт, 2009. – 528 с.

Статья поступила 25.05.2017