

УДК 629.7

© Кузин А.И., Чулков С.А.  
Kuzin A., Chulkov S.

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТИЧНО МНОГОРАЗОВЫХ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ РАЗВЕРТЫВАНИЯ, ПОДДЕРЖАНИЯ И ВОСПОЛНЕНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### THE METHODOICAL APPROACH TO EFFICIENCY ESTIMATION OF PARTIALLY REUSABLE LAUNCH VEHICLE USAGE IN THE REALIZATION OF SPACECRAFT DEPLOYMENT, MAINTENANCE AND REPLENISHMENT PROGRAMS

**Аннотация.** В статье представлен методический подход к обоснованию требований к частично многоразовым средствам выведения на основании комплексного показателя, включающего энергетические, эксплуатационные, экологические и экономические свойства частично многоразовых средств выведения.

**Annotation.** This article presents the methodical approach to substantiation of requirements to partly reusable launch vehicles (PRLV) on the basis of complex index, which includes energetic, operational, ecological and economic features of PRLVs.

**Ключевые слова.** Средства выведения, полезная нагрузка, космический аппарат, показатель.

**Key words.** Launch vehicle, payload, spacecraft, index.

Сформированные к настоящему времени требования к перспективным средствам выведения космических аппаратов предусматривают значительное повышение эффективности их использования при реализации федеральных и коммерческих программ. При этом, в первую очередь, эти требования направлены на существенное снижение стоимости и повышение надежности использования перспективных средств доступа в космическое пространство. Используемые в современных условиях одноразовые средства выведения космических аппаратов (СрВ КА), наряду с такими достоинствами, как применение освоенных технологий изготовления, наличие значительного опыта эксплуатации, имеющаяся производственная и эксплуатационная база, обладают целым рядом недостатков, основными из которых являются:

1. Высокие повторяющиеся затраты на изготовление и использование по целевому назначению ракетных блоков и носителей в целом.

2. Наличие значительных по размерам «зон отчуждения», выделяемых для падения отделяющихся элементов ракет-носителей.

3. Отсутствие возможности выполнения целевой задачи в случае отказа элементов двигательной установки.

4. Применение зачастую высокотоксичных компонентов ракетного топлива.

5. Невозможность повторного использования не только средства выведения в целом, но и его отдельных базовых элементов.

В этой связи на протяжении длительного периода времени в России и целом ряде других стран проводятся проработки в области создания средств выведения нового поколения, способных в значительной мере парировать имеющиеся проблемы. Опыт создания МТКК Спейс Шаттл и МКС Энергия – Буран показал, что создание полностью многоразовых средств выведения не позволяет в полной мере решить перечисленные выше пробле-

---

Кузин Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель Генерального директора ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, тел. 499-749-50-18;

Чулков Сергей Александрович – аспирант Московского авиационного института.

Kuzin Anatolyi. – deputy general director of Khrunichev Space Center, Doctor of science (technology), professor, Honored Scientist of Russian Federation. tel. 499-749-50-18;

Chulkov Sergeyi. – postgraduate of Moscow Aviation Institute.

мы, в первую очередь, из-за чрезмерно высоких затрат на изготовление и эксплуатацию СрВ. Основные затраты на эксплуатацию полностью многоразовых средств выведения связаны с межполетным обслуживанием и восстановлением работоспособности многоразовых верхних ступеней ракет-носителей, обусловленные крайне жесткими условиями их эксплуатации, особенно на участках выведения и возврата, когда эти элементы многоразовой системы подвергаются значительным по величине механическим и тепловым нагрузкам.

Одним из возможных путей повышения эффективности использования многоразовых систем выведения КА является создание частично многоразовых средств со спасаемой первой ступенью, как наиболее затратной в изготовлении и в максимальной степени определяющей эксплуатационные и надежность свойства СрВ и в то же время работающей не в столь жестких условиях в сравнении с возвращаемыми ракетными блоками второй ступени.

При формировании облика подобных средств выведения возможны различные варианты конструктивно-компоновочных схем, отличающиеся, в конечном итоге, различными показателями технико-экономической эффективности. На предварительных этапах формирования и выбора конкретных схем частично многоразовых систем выведения со спасаемой первой ступенью весьма важно проведение оценочных расчетов, позволяющих уже на предпроектном уровне выявить предпочтения того или иного варианта по совокупности показателей его целевой эффективности. К настоящему времени полноценная методика проведения подобного анализа применительно к выбранному объекту исследования отсутствует. В этой связи задача разработки методики априорной оценки эффективности такого рода средств выведения и решение обратной задачи-обоснования требований к их основным характеристикам представляется чрезвычайно актуальной.

В вербальной форме постановка задачи может быть сформулирована следующим образом.

Разработать методику оценки эффективности и обоснования требований к частично многоразовым средствам выведения космических аппаратов, учитывающую основные показатели жизненного цикла СрВ, включая энергетическую, эксплуатационную, экологическую и технико-экономическую компоненты. Провести исследование по оценке эффективности имеющихся вариантов СрВ, разработанных на предпроектном уровне, с целью выбора рациональных версий. Обосновать перечень и содержание основных требований к характеристикам

средств выведения, планируемым к использованию по федеральным космическим программам и на коммерческом рынке пусковых услуг.

В формализованном виде постановка задачи может быть сформулирована следующим образом.

Дано:

1. Множество вариантов частично многоразовых средств выведения КА  $Q$ , состоящих из отдельных элементов (вариантов СрВ КА)  $q_i$ .

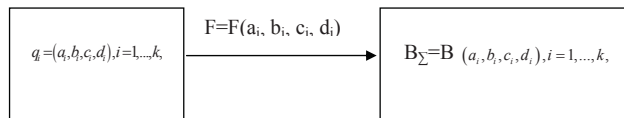
Причем  $q_i \in Q, i = 1, \dots, n$ .

2. Каждый вариант СрВ  $q_i \in Q, i = 1, \dots, n$  в пространстве исходных данных характеризуется вектором технико-экономических показателей

$$q_i = (a_p, b_p, c_p, d_i); i = 1, \dots, k,$$

отражающих основные энергетические, эксплуатационные, экологические и экономические характеристики рассматриваемого варианта СрВ соответственно, при этом  $q_i \in Q, i = 1, \dots, n$ .

3. Предполагается, что, несмотря на отсутствие явно выраженной детерминированной аналитической зависимости между показателями  $a_p, b_p, c_p, d_i$  в пространстве откликов, существует некий обобщенный показатель  $B_\Sigma = B(a_p, b_p, c_p, d_i); i = 1, \dots, k$ , определяющий качество данного варианта  $q_i = (a_p, b_p, c_p, d_i); i = 1, \dots, k$  по совокупности единичных показателей  $a_p, b_p, c_p, d_i$  из пространства



исходных характеристик. При этом функция  $F = F(a_p, b_p, c_p, d_i)$ , однозначно определяет взаимосвязь между векторами  $q_i = (a_p, b_p, c_p, d_i); i = 1, \dots, k$  и  $B_\Sigma = B(a_p, b_p, c_p, d_i); i = 1, \dots, k$ , то есть

4. Существует вектор ограничений, представляющий собой совокупность ограничений различного характера, в рамках которых решается рассматриваемая научная задача.

$$\varphi = (\varphi_i), i = 1, \dots, g$$

Вектор ограничений принимает следующие значения:

$$\varphi = \begin{cases} 1, & \text{при выполнении} \\ & \text{ограничений;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Требуется:

1. Разработать методический (аналитический) аппарат, позволяющий выявить взаимосвязь и взаимовлияние показателей пространства исходных характеристик

на обобщенный показатель пространства откликов с использованием определяемой в ходе проводимых исследований зависимости  $F=F(a, b, c, d)$

2. Провести вычислительный эксперимент с использованием разработанного методического аппарата и исходных данных по имеющимся вариантам конструктивно-компоновочных схем частично многоразовых систем выведения со спасаемой первой ступенью.

3. Выработать рекомендации по номенклатуре и содержанию требований технико-экономического характера в максимальной степени обеспечивающих эффективность и конкурентоспособность перспективных средств выведения на отечественном и международном рынке космических услуг с учетом необходимости выполнения условия

$$B_{\Sigma} = \text{extr}(B_{\Sigma}^i), i=1, \dots, n.$$

В сформулированной выше постановке задача разработки методики оценки эффективности и обоснования требований к частично многоразовым средствам выведения космических аппаратов, учитывающей основные показатели жизненного цикла СрВ и проведение исследований по оценке эффективности имеющихся вариантов СрВ, разработанных на предпроектном уровне может решаться в несколько этапов.

Начальный этап решения задачи связан с получением и приведением к формализованному виду необходимых исходных данных, а также с обоснованием критериальной базы, используемой для проводимого исследования.

В качестве исходных данных могут быть использованы технико-экономические показатели разработанных на предпроектном уровне вариантов частично многоразовых средств выведения, полученные в результате проработок ведущих отечественных предприятий-разработчиков ракетно-космической техники. Такого рода информация содержится в публикациях открытых источников информации (научно-технические журналы, материалы и труды научно-технических конференций и др.), а также в научно-технических отчетах о НИР, выполняемых НИИ и КБ ракетно-космической отрасли.

При выборе критериальной базы необходимо исходить как из существа решаемой задачи, так и из наличия необходимой информации для численного выражения выбираемых показателей. Представляется целесообразным всю совокупность показателей, необходимых для проведения исследования, условно разделить на четыре группы:

- показатели, характеризующие способность средств выведения решать основную целевую задачу – до-

ставку заданной по величине полезной нагрузки на определенную околоземную рабочую орбиту (отлетную траекторию) с фиксированными параметрами (условно «энергетические показатели»);

- показатели, определяющие эксплуатационные свойства рассматриваемого объекта исследования, включая, главным образом, совокупность операций, обеспечивающих целевое применение СрВ (условно «эксплуатационные показатели»);

- показатели, характеризующие воздействие разрабатываемой системы выведения на окружающую среду и обслуживающий персонал (условно «экологические показатели»);

- показатели, определяющие экономическую целесообразность и эффективность применения СрВ при реализации программ выведения космических аппаратов по федеральным и коммерческим программам (условно «экономические показатели»).

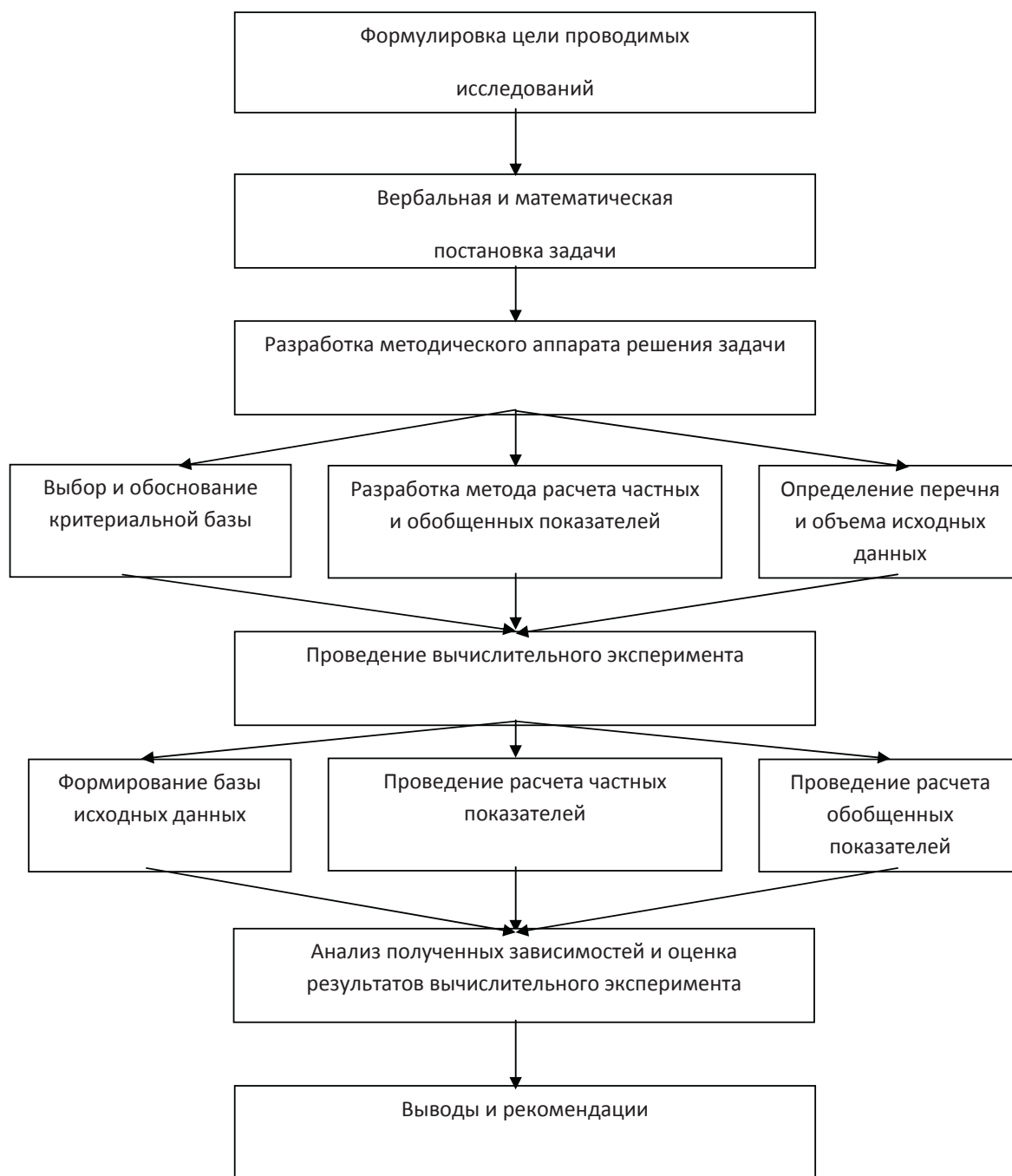
Конкретный вид и значение каждого показателя эффективности из рассмотренных выше групп определяется в ходе проведения исследования на начальном его этапе.

Самостоятельное значение при реализации излагаемого методического подхода имеет выбор функции, связывающей пространства исходных характеристик и пространство откликов рассматриваемого объекта исследования. К настоящему времени существует достаточно много методических приемов, позволяющих получать обобщенные оценки при отсутствии детерминированных зависимостей между единичными показателями эффективности. Выбор стратегии решения этой задачи осуществляется непосредственно на этапе формирования методики. В случае значительного количества рассматриваемых показателей для снижения размерности задачи выявления закономерностей их взаимного влияния могут быть использованы обобщенные критерии, получаемые, например, путем линейной «свертки» частных показателей [1-4].

Заключительный этап исследования заключается в проведении вычислительного эксперимента с использованием разработанной методики, анализе полученных результатов и выработке соответствующих предложений и рекомендаций.

В целом укрупненная методическая схема решения сформулированной научной задачи представлена на рисунке.

Предложенный методический подход к решению сформулированной задачи анализа эффективности и обоснования требований к перспективным средствам выведения многоразового использования позволит при его реа-



Укрупненная методическая схема решения задачи

лизации получить сбалансированную оценку совокупности основных целевых и эксплуатационных свойств систем выведения на ранних этапах их разработки, что, в

свою очередь, будет способствовать принятию рациональных конструкторских решений.

*Литература.*

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. *Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности*, М., Финансы и статистика, 1989, 607 стр.
2. Беллман Р., Заде Л. *Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений*, М., Мир, 1976, 172-215 стр.
3. Сиразетдинов Т.К., Хамитов И.Х. *Выбор весовых коэффициентов в задаче оптимального демпфирования упругих колебаний крыла*. Изв. вузов. *Авиационная техника* № 2, 1982, 35-40 стр.
4. Юдин А.Б. *Вычислительные методы теории принятия решений*, М., Наука, 1989.

Материал поступил в редакцию 27. 06. 2010 г.