

УДК 629.78.01

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗВИТИЮ ИЛИ ПОЯВЛЕНИЮ НОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СЕМЕЙСТВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

© 2010 Ю. А. Советкин, Н. В. Степанова

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Рассмотрены варианты развития и появления новых семейств отечественных ракет-носителей.

Семейство ракет-носителей, космические аппараты, технико-экономические показатели, эффективность.

Федеральная космическая программа России [1] установила потребность в тех ракетно-космических комплексах (РКК), которые необходимы для внутреннего рынка космических услуг. Появился документ, регламентирующий программы производства ракет-носителей (РН), которые могут быть заказаны государством. Всё, что будет произведено сверх этой программы, должно быть ориентировано на внешний рынок. Поэтому конструкторские бюро (КБ) и заводы должны быть, в принципе, заинтересованы в поисках заказов на оказание космических услуг на международном рынке.

Однако в процессе интеграции России в мировое хозяйство выявилось много обстоятельств, которые обуславливали развитие отечественной ракетно-космической техники до начала этого процесса и те, которые появились после.

Требования, выдвигающиеся в тактико-технических заданиях (ТТЗ) к РН

1. Безусловная реализация вывода массы полезного груза – $M_{шт}$ на рабочую орбиту с высотой перигея – $H_{пл}$, апогея – $H_{ап}$ и наклонением i с соответствующими точностями Δj по каждому из параметров.

2. При переориентации боевого комплекса под решение гражданских задач максимальное сохранение служб стартового комплекса (технической и стартовой позиции), наземного комплекса управления полётом и т. д.

3. Максимальное сохранение производственной кооперации.

4. Минимизация экономических затрат и времени на разработку.

Рассмотрение этих основных требований приводит к констатации следующих фактов.

1. Существовавшая практика разработки ТТЗ приводила к тому, что оно было приспособлено к традиционно сложившимся проектно-конструкторским и производственно-технологическим базам Головного конструкторского бюро (ГКБ) и Головного сборочного завода (ГСЗ). Сохранялось использование для решения основной задачи тех двигателей, которые разрабатывались традиционным изготовителем двигателей, а следовательно, и тех пар компонентов топлива, на которых они работают.

2. Пуски конверсионных РН планировалось производить с традиционных стартовых сооружений (с открытого старта, из шахты, с подводных лодок, мобильных железнодорожных или автотранспортных комплексов).

3. Разработка новых систем, которые появлялись в составе РН, поручалась новым предприятиям по усмотрению Министерства, Головного института и других инстанций.

4. Затраты на разработку рассчитывались по методикам нормативно-справочной базы на основе обработки статистики по прошедшим проектам ракетно-космической техники (РКТ).

5. После защиты эскизного проекта открывалось финансирование, причём считались нормальными случаи (часто неоднократные) корректировок затрат, заявленных при эскизном проекте, в сторону увеличения. При этом стоимость разработки увеличивалась в разы.

Первые же шаги по интеграции России в международный рынок выявили, что наши требования к новым проектам по РКТ существенно отличаются от международных.

Особенности Международных требований к ракетам-носителям

1. Экологические требования. Использование на первых ступенях ракет-носителей токсичных компонентов (азотного тетраоксида – АТ и несимметричного диметилгидразина – НДМГ) практически запрещено по требованиям экологических организаций. Российскую РН «Протон», с помощью которой были выведены и смонтированы на орбитах отечественная космическая станция «МИР» и базовые модули Международной космической станции (МКС), в перспективе следует заменить на РН, использующую для двигателей блоков первой ступени экологически более чистые компоненты.

Стало проблемным использование для запусков зарубежных космических аппаратов (КА) в гражданских интересах РН серий «Космос» и «Циклон» и конверсионных ракет («Рокот», «Стрела», «Днепр», «Штиль-2»), двигатели которых используют пару компонентов АТ + НДМГ, а также конверсионных РН, двигатели которых работают на твердом пороховом топливе («Старт», «Старт-1») [2].

Новым международным требованиям по экологически чистым компонентам на первых ступенях РН из отечественных семейств стали соответствовать только два: РН на базе Р-7А (компоненты топлива на первой и второй ступенях – жидкий кислород + керосин) и семейство «Рикша» («Рикша», «Рикша-1», «Рикша-2»), первые ступени которых используют двигатели, работающие на компонентах жидкий кислород + сжиженный природный газ [2].

Анализ практических действий по выполнению в России международных требо-

ваний по экологии свидетельствует о том, что:

- завершается разработка нового семейства РН «Ангара», все члены которого на первой ступени имеют двигатели, работающие на жидком кислороде и керосине;

- сделана попытка заменить РН «Протон» при выводе на геостационарную орбиту полезного груза массой примерно 1,5 тонны РН «Аврора», которая, по предположениям разработчиков, будет членом семейства РН на базе Р-7А. Проект не получил развития.

2. Прозрачность средств на разработку и стоимости пуска.

Понятие о новом изделии

При разработке нового изделия по имевшейся нормативно-справочной базе предлагалось исходить из следующих соображений.

Имеется общее уравнение связи лётно-технических характеристик (ЛТХ) и проектных параметров со стоимостью $C_{изд} = f(n, m_0, m, q_{cp}, L_{0i}, n_{agr}, m_{cy}, m_{си}, SK)$, в котором входящие аргументы являются техническими параметрами.

Основные рабочие соотношения технических параметров со стоимостью имеют вид.

Структурные –

$$C_{опыт} = C_{корп} + C_{ду} + C_{cy} + C_{си} + C_{проч}.$$

Параметрические –

$$C_{изг\ движ} = 0,11 K_{топл} P_{пуст}^{0,79} P_{кс}^{0,74} P_{срез}^{-0,224} (T - 1960)^{0,2}.$$

Сравнительные –

$$C_{agr} = K_n K_{сл} C_{agr.прот.}; C_{agr} = \hat{C}_{agr} M_{agr}.$$

Если сейчас рассчитать любой из экономических параметров по имеющимся формулам, то отклонение от фактических затрат может быть в 100-250 раз.

Поэтому стали разделять разработки новых изделий (табл. 1).

Изменения по сравнению с аналогом при расчётном случае приведены в табл. 2.

Изменения составов комплектующих систем и другие изменения приведены в табл. 3.

Таблица 1

Виды «новых» изделий	СТЕПЕНЬ БЛИЗОСТИ К АНАЛОГУ				
	Аналог имеется			Явного аналога нет	Аналога нет
	Модификация или модернизация		Существенные отличия	Отдаленный прототип	Принципиально новое изделие
	Почти полное заимствование	Незначительные доработки	Значительные доработки	Новый прототип	Качественно новое изделие
Условное обозначение	Ан	Дор	Нов	Прот	Гип

Таблица 2

Случай	Характер изменения по сравнению с аналогом
Ан – модификация	Изменение технических показателей, позволяющее улучшить ЛТХ за счёт внутренних резервов изделия; устранение скрытых, выявленных в процессе эксплуатации проектно-конструкторских или производственно-технологических дефектов; изменение эргономики изделия и прочие причины. Модернизация отличается резко повышенным объёмом таких работ.
Дор – модернизация	
Нов – значительные доработки (фактически новое изделие)	Изменение аналога по структуре построения, основным ЛТХ, габаритно-массовым характеристикам, аэродинамике, прочности и т.д. Сохраняется идеология функционирования, внешняя похожесть, возможность использования наземных служб (с доработкой или без неё), кооперация и т.д.
Прот – новый прототип	Изделие должно иметь такие ЛТХ и прочие характеристики, которые будут достигнуты на нём впервые, при этом уровень современной техники позволяет их достичь.
Гип – гипотетика, качественно новое изделие	Изделие, технические характеристики которого в течение ближайших 5 – 10 лет нереализуемы, хотя технически осуществимы при решении проблем, требующих проведения фундаментальных исследований и НИР

Таблица 3

Случаи	Ан	Дор	Нов	Прот	Гип
Новые системы	0	10-30%	40-80%	> 80%	> 90%
Доработка систем аналога	10-30%	30-50%	30%	30%	< 20%
Заимствование документации аналога	90-100%	50-80%	10-40%	< 10%	0
Изменение технологии изготовления комплектующ.	5-10%	10-30%	30-80%	70-80%	80-90%
Изменение стоимости опытного образца	≤ 5%	≤ 20%	≥ 40%	≥ 100%	200-500%
Объём ПКР по сравнению с ПКР аналога*	20%	40%	80-100%	> 100%	200-500%
Доработки наземных служб	Не требуются	10%	20-40%	50-100%	Может измениться идеология построения служб
* ПКР – проектно-конструкторские работы					

Понятие о стоимости изготовления опытных и первого серийного образцов

При составлении бизнес-плана на прединвестиционной фазе проекта обычно разрабатывается проектный технико-экономический анализ, задачей которого является определение двух главных компонентов: стоимости изготовления опытного образца и общей стоимости затрат на разработку (всех затрат до момента начала серийного производства).

Для расчётных случаев **Ан** (часто и для **Дор**), когда возможны прямые калькуляционные расчёты, разработки проектного технико-экономического анализа не требуется, все изменения просчитываются напрямую калькуляцией.

Во всех остальных расчётных случаях используется понятие стоимости изготовления опытного образца изделия, приближенные оценки.

По предложению экспертов:

- каким-то образом определяется $C_{опыт}$;
- остальные рассчитываемые величины затрат находят путём умножения значения $C_{опыт}$ на коэффициент, который отражает отношение аналогичных затрат у статистических аналогов к стоимости их опытного изделия.

Теоретически за стоимость изготовления опытного образца принимается стоимость изготовления первого образца, предназначенного для летных испытаний (ЛИ). Реально стоимости изготовления всех образцов, выполненных в натуральную величину, отличаются друг от друга. Конструктивный макет, стендовые макеты и изделия, изделия для ЛИ – все имеют по окончательным сметным калькуляциям разные оптовые цены. Но это выявляется в то время, когда ГСЗ подготавливает и согласует сметные калькуляции. Колебания конкретной оптовой цены относительно среднеарифметической величины оптовых цен экспериментальных изделий для комплексной наземной экспериментальной отработки (КНЭО) и изделий для ЛИ могут быть $\pm 25\%$. Однако это выявляется только на поздних стадиях проектирования, а планирование затрат идет на ранних стадиях разработки (на прединвестиционной фазе

проекта), когда ещё в полной мере не определены ни состав изделий, ни стоимости его комплектующих.

Таким образом, первая условность $C_{опыт}$ вызвана предварительностью оценок.

Вторая условность состоит в том, что по результатам экспериментальных работ и ЛИ в конструкцию изделия и в составы систем могут быть внесены изменения, которые невозможно предусмотреть на любой стадии разработки.

Третья условность – невозможность учета влияния внешней среды за период от начала разработки до постановки изделия на серийное производство.

Чтобы избавиться от этих неопределенностей, было принято:

1. На проектных стадиях разработки I–III (прединвестиционной фазе проекта) стоимости изготовления всех экспериментальных изделий для КНЭО и всех изделий для ЛИ считать одинаковыми и равными $C_{опыт}$.

2. В методическом отношении $C_{опыт}$ считать той величиной, относительно которой определяются все затраты, расчет которых впрямую настолько трудоемок, а зачастую и просто невозможен, что экономически неэффективен из-за неопределенной точности при высокой стоимости и большом времени его проведения.

3. Стоимость изготовления первого серийного образца оценивать на основании статистики по разным проектам по формуле $C_1 \approx (0.85 \div 0.9) C_{опыт}$.

4. Если образуются экспертные комиссии, которые могут выработать коэффициенты новизны и сложности, а также установить коэффициенты инфляции, то можно сформировать такую таблицу аналитических расчётных формул (табл. 4).

5. В любом из случаев главным ориентиром является рыночная цена, по которой ЛА мог бы быть реализован на внутреннем или международном рынке продаж или услуг.

Понятие об эквивалентах для расчёта стоимости разработки

В стоимость разработки входят затраты Головного разработчика, затраты Головного сборочного завода и затраты на работы по наземному комплексу.

Таблица 4

Расчётный случай	Формула	Примечания
Ан – модификация	$C_{опыт} \leq 1,05 C_{сер N}$	N – номер аналога, с которого начнутся ЛИ
Дор – модернизация	$C_{опыт} \approx 1,2 K_{инф} C_{опыт ан}$	$C_{опыт ан}$ – у аналога
Нов – новое изделие	$1,2 K_{инф} C_{опыт ан} \leq C_{опыт} \leq 2 K_{инф} C_{опыт ан}$	Близость к границам – по соображениям экспертов
Прот – новый прототип	Экспертно	База – рыночная цена
Гип – гипотетика	Экспертно	База – квалификация эксперта

На основе статистических данных составлены таблицы отношений каждого из этих видов затрат к стоимости опытного образца (названные эквивалентами) для каждого из случаев разработки [3]. Как пример, приведена табл.5 для случая **Нов** (аббревиатуры в табл. 5 означают: $C_{гр}$ – затраты Головного разработчика приняты равными 10% от затрат ГСЗ; $N_{нк}$ – эквивалент работ по наземному комплексу; $N_{ГСЗ}$ – суммарный эквивалент всех работ Головного сборочного завода, состоящий из сумм: $N_{пп}$ – эквивалента затрат на подготовку производств, $N_{зоуа}$ – эквивалента затрат на экспериментальную отработку узлов и агрегатов, $N_{эу}$ – эквивалента затрат на отработку по эксперимен-

тальным установкам, $N_{оп}$ – эквивалента затрат на отработку прочности, $N_{кнэо}$ – эквивалента затрат на комплексную наземную экспериментальную отработку, $N_{ли}$ – эквивалента затрат на лётные испытания, $N_{пол}$ – эквивалента затрат на обеспечение одного полёта ЛА, кроме ракет, $N_{пуск}$ – эквивалента затрат на 1 пуск ракеты при пусках на ЛИ).

Таким образом, обеспечение прозрачности стоимости разработки и пуска ракеты-носителя может быть проэкспертировано по схеме: определение случая разработки — отыскание стоимости опытного образца и вычисление стоимости изготовления первого серийного — назначение или выбор рекомендуемых эквивалентов — определение зат-

Таблица 5. Рекомендуемые значения эквивалентов для случая **Нов** (расчетная формула при наличии эквивалента – $C_i = N_i * C_{опыт}$)

Эквиваленты параметров ТЭП	Случай Нов – Существенные доработки			
	Авиация	Изделия РКТ	Вертолеты	Экранопланы и прочие ЛА
$C_{опыт}$	$<2 K_{инф} C_{опыт аналога}$	$<2 K_{инф} C_{опыт аналога}$	$<2 K_{инф} C_{опыт аналога}$	$<2 K_{инф} C_{опыт аналога}$
C_1	$(0,85-0,9) C_{опыт}$	$(0,85-0,9) C_{опыт}$	$(0,85-0,9) C_{опыт}$	$(0,85-0,9) C_{опыт}$
$C_{гр}$	0,1 $C_{ГСЗ}$	0,1 $C_{ГСЗ}$	0,1 $C_{ГСЗ}$	0,1 $C_{ГСЗ}$
$N_{нк} *$	3 – 5	5 – 7	2 – 3	2 – 3
$N_{ГСЗ}$	8,90	13,45	12,15	12,15
в т.ч.: – $N_{пп}$	2	3	3	3
– $N_{зоуа}$	0,5	0,5	0,5	0,5
– $N_{эу}$	0,3	0,5	0,2	0,2
– $N_{оп}$	1	2	2	2
– $N_{кнэо}$	3	3	3	3
– $N_{ли}$	2	4	3	3
– $N_{пол}$	0,05 * $N_{ли}$	–	0,05 * $N_{ли}$	0,05 * $N_{ли}$
– $N_{пуск}$	–	0,15 * $N_{ли}$	–	–

рат на разработку. После проведения этих вычислений руководство отрасли и её экономисты будут иметь все исходные данные для формирования финансового раздела бизнес-плана, планируемых финансовых потоков при сформированных маркетинговыми исследованиями нишах рынка. Все исходные данные для инвестора становятся прозрачными. Более подробная методология и разработанная на её базе методика изложены в [3].

Самый важный вывод из вышеприведенного анализа прозрачности затрат для инвестора состоит в том, что разработка нового члена существующего семейства может происходить только в случаях **Ан** и **Дор**. Для других случаев, даже при внешней схожести форм, появляется носитель нового семейства, имеющий резко возрастающие стоимость изготовления серийного образца и затраты на разработку.

Опыт разработки отечественных ракет различных семейств свидетельствует, что разработка этих ракет производилась в точном соответствии с ТТЗ, выдаваемым Головному конструкторскому бюро Заказчиком. В этом ТТЗ отсутствовали требования, касающиеся рыночной «ниши» оказания космических услуг, как на внутреннем, так и на международном рынках. Модификации и модернизации, например, РН семейства Р-7А проводились с целью запусков нового конкретного КА. При этом известный пакет 11С59 (блок «А» + блоки «Б-Д») подвергался несущественным доработкам, практически оставаясь неизменным. В некоторых случаях, когда требовалась его существенная доработка (случай **Нов**), проект нового КА, предполагавший такие доработки по пакету 11С59, просто откладывался.

Проекты «Союз-1» + «Союз-2-3» и «Русь-МП», как требующие существенной доработки пакета 11С59, нуждаются в тщательной разработке бизнес-плана, проведе-

нии соответствующего маркетинга, учёте рисков и прочих исследованиях, в многократных экспертизах и согласованиях, в частности, и с новой Федеральной космической программой, которая появится после 2015 года. Только в этом случае могут создаваться предпосылки для появления новых семейств отечественных ракет-носителей, например, на базе РН типа Р-8, Р-9 и т.д.

Библиографический список

1. Федеральная космическая программа России на 2006-2015 годы: утверждена постановлением Правительства РФ от 22 октября 2005 г. № 635 / Веб-сайт Роскосмоса. - М.: РКА, 2005. - 14 с.
2. Уманский, С. П. Ракеты-носители. Космодромы. - М.: Изд-во «Рестат+», 2001. - 212 с.
3. Оценка эффективности многоразовости ступеней и предложения по вариантам многоразовой ракетно-космической системы: Научно-технический отчёт по теме «Магистраль-6-3-ЦСКБ», № госрегистрации 353П-000-32223-1151. 2007 / Самарский государственный аэрокосмический университет. - Самара: СГАУ, 2007. - 168 с.

References

1. Aerospace Federal Programme of Russia for 2006-2015: approved by the Government of Russian Federation, 22.10.2005, No. 635 / RosCosmos Website. - Moscow: RCA, 2005. - 14 p.
2. Umansky, S. P. Carrier-rockets. Space launch complexes. - Moscow: "Restat +" publishing house, 2001. - 212 p.
3. Estimation of efficiency of multiple-usage stages and proposals concerning variants of a reusable space-rocket system: Report on the subject "Magistral-6-3-TsSKB", 2007 / Samara State Aerospace University. - Samara: SSAU, 2007. - 168 p. State Register No. 353P-000-32223-1151.

**ANALYSIS OF DEMANDS ON THE EVOLUTION AND DEVELOPMENT
OF NEW DOMESTIC BOOSTER POPULATION**

© 2010 Yu. A. Sovetkin, N. V. Stepanova

Samara State Aerospace University
named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

Different options of development and production of new domestic booster samples have been studied.

Booster population, space vehicles, cost-performance characteristics, performance index.

Информация об авторах

Советкин Юрий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры организации производства, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: ракетостроение. E-mail: sovetkin@smrk.ru, sovetkin@bk.ru.

Степанова Наталья Владимировна, аспирант Самарского государственного аэрокосмического университета, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» ГОУ ВПО филиал СамГТУ в г. Сызрани. Область научных интересов: технология машиностроения. E-mail: obvod@mail.ru.

Sovetkin Yury Alexandrovitch, doctor of technical science, professor, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), sovetkin@bk.ru. Area of research: spacecraft engineering.

Stepanova Natalia Vladimirovna, post-graduate student, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), senior lecturer of the department “Mechanical engineering technology”, Syzran branch of Samara State Technical University, obvod@mail.ru. Area of research: technology of mechanical engineering.