

УДК 629.764:65.012.122

Оценка конкурентоспособности транспортной космической системы «Зенит-3SL»

В. К. Дорошкевич¹, В. И. Кузнецов¹,
Б. А. Ковалев², Ю. М. Гольдштейн¹

¹Институт технічної механіки НАН України и НКА України, Дніпропетровськ

²Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

Надійшла до редакції 18.04.00

Аналізується конкурентоспроможність транспортної космічної системи «Зеніт-3SL» на світовому ринку послуг по запуску геостационарних космічних апаратів. Дослідження виконані із застосуванням оригінальної економіко-математичної моделі, в якій мінімізується сумарна вартість фрахтів конкуруючих носіїв. Виконані у рамках цієї моделі дослідження показали, що у системи «Зеніт-3SL» є потенційна можливість освоєння до 65 % ринку запусків КА на геостационарну орбіту.

ВВЕДЕНИЕ

Услуги по запуску коммерческих космических аппаратов на геостационарную орбиту составляют существенную часть (свыше 60 % по стоимости) мирового рынка транспортно-космических услуг и в значительной степени определяют пути развития транспортных космических систем (ТКС) среднего и тяжелого классов [3, 5]. Основное назначение транспортной космической системы «Зенит-3SL» — запуски космических аппаратов на геостационарную орбиту. Разработка стратегии выхода новой ТКС на этот сегмент рынка и определение направлений развития самой системы должно основываться на оценке емкости рынка и анализе конкурентоспособности действующих на нем ТКС.

Основу прогноза ситуации на рынке запусков КА составляет анализ тенденций развития услуг, предоставляемых космическими аппаратами, и соответственно анализ тенденций развития самих КА, их фактические, либо прогнозируемые характеристики, планы запусков.

ПРОГНОЗ ЗАПУСКОВ КА, ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На основе анализа информации по планируемым запускам нами разработан прогноз программы запусков космических аппаратов на геостационарную орбиту: в десятилетие 2000—2009 гг. будет запущено примерно 250 аппаратов, из них коммерческими будут около 80 % (210 КА).

В соответствии с целью настоящей работы все предполагаемые к запуску КА (их массы находятся в диапазоне от 1100 до 4600 кг) разделены по массе на 13 групп (рис. 1). Аппараты каждой группы (их количество известно) в дальнейшем характеризуются средней массой и средней стоимостью.

В качестве претендентов на выведение этих аппаратов в работе рассматриваются 25 транспортных космических систем — носителей с соответствующей инфраструктурой, включая космодром. Эти системы выбраны в результате анализа всего множества существующих ТКС [3, 4].

При запусках на геостационарную орбиту каждая

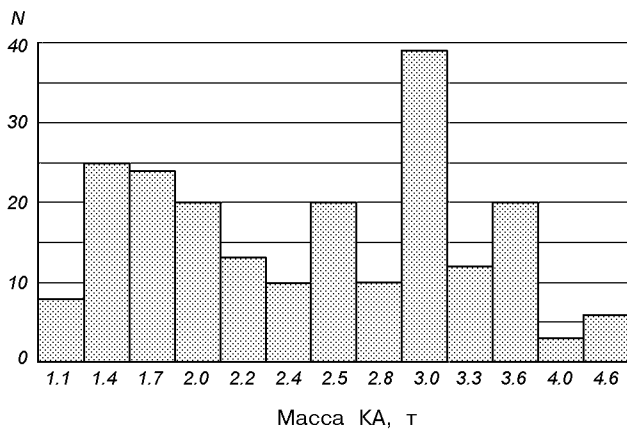


Рис. 1. Распределение по массам геостационарных КА, прогнозируемых на 2000—2009 гг.

ТКС характеризуется: орбитой доставки КА (геостационарная — GEO, либо переходная к геостационарной — GTO), энергетическими возможностями носителя (максимальной массой, выводимой на данную орбиту доставки), максимальным количеством КА в одном пуске, темпом пусков, надежностью, ценой пуска и ценой фрахта. Цена фрахта — сумма цены пуска и стоимости страховки носителя и КА, причем стоимость страховки принята равной произведению суммы цены пуска РН и средней стоимости КА в соответствующей группе на страховую ставку.

Состав конкурентов на рынке транспортно-космических услуг и принятые для исследований характеристики (надежность носителя, масса выводимого КА, цена пуска) приняты согласно [3, 4].

Итак, имеется заданное количество космических аппаратов, подлежащих запуску на геостационарную орбиту за рассматриваемый период, и заданное множество транспортных космических систем (ракет-носителей), которые претендуют на выведение этих КА.

В соответствии с подходом к анализу потенциальной конкурентоспособности ТКС, предложенным в [1], необходимо распределить все КА по носителям, удовлетворяя всем ограничениям и минимизируя суммарную (по всем носителям) стоимость фрахта. Последняя определяется как сумма стоимостей пуска и страховки. В этом оптимальном распределении каждый носитель будет обладать своей долей пусков (не исключено, что она окажется нулевой), которая и будет характеризовать его конкурентные возможности, определяемые стоимостными и техническими характеристиками. Изменение тех или иных характеристик позволит оце-

нивать изменения конкурентных возможностей носителя и определить наиболее перспективные пути его модернизации.

В реальности поставщики ТКС стремятся максимизировать свою долю на рынке, а заказчики — минимизировать свои расходы на запуски. Применение минимума суммарной стоимости фрахтов в качестве целевой функции позволяет провести сравнительный анализ конкурентоспособности различных ТКС в технико-экономическом аспекте. Таким образом, сравнительную конкурентоспособность ТКС будем определять через их доли в оптимальном плане распределения всех КА, подлежащих запуску за рассматриваемый период времени. По этим «натуральным» долям определяются стоимостные показатели: стоимость всех запусков, осуществляемых данной ТКС, ее доля в суммарной стоимости фрахтов, расходы, прибыль.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При такой постановке задача оценки влияния технико-экономических факторов на распределение рынка транспортно-космических услуг может быть сведена к решению задачи целочисленного линейного программирования, в которой минимизируется суммарная стоимость всех фрахтов [1]. Приведем вкратце математическую постановку этой задачи.

Задано m типов КА, подлежащих запуску за рассматриваемый период времени; $i \in \{1, m\}$ — номер типа КА. Всего за период подлежит запуску a_i аппаратов i -го типа.

Задано n типов РН; $j \in \{1, n\}$ — номер типа ТКС. Всего за период может быть осуществлено не более b_j пусков ТКС j -го типа.

Обозначим через $K_{ij} \in \{0, 1, \dots, K_{ij \max}\}$ — число КА i -го типа, выводимых ТКС j -го типа в одном пуске, а через C_{ij} — стоимость фрахта одной ракеты j -го типа для выведения K_{ij} аппаратов i -го типа в одном пуске. Пусть X_{ij} — заранее неизвестное количество пусков носителей j -го типа для выведения КА i -го типа. Задача состоит в минимизации суммарной стоимости фрахта использованных носителей

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При этом все КА каждого типа должны быть выведены:

$$\sum_{j=1}^n K_{ij} X_{ij} = a_i \quad (2)$$

для $i \in \{1, n\}$, а количество пусков РН j -го типа не

должно превышать эксплуатационные и производственные возможности за рассматриваемый период:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq b_j \quad (3)$$

для всех $j \in \{1, n\}$.

Количество пусков может быть только неотрицательным целым числом

$$X_{ij} \in \{0, 1, \dots\} \quad (4)$$

Необходимо найти $m \times n$ значений X_{ij} (матрицу X), минимизирующих значение целевой функции (1) при ограничениях (2)—(4).

Задача (1)—(4) является «ядром» математической модели оценки конкурентоспособности ТКС [1].

Ограничения (2) и (3) могут оказаться несовместными (много спутников, мало ракет). В общем случае (когда возможен и дефицит транспортных возможностей) ограничения (2) следует записать в виде неравенства, учитывающего, что возможны ситуации, когда не все КА могут быть распределены по ТКС за рассматриваемое время

$$\sum_{j=1}^n K_{ij} X_{ij} \leq a_i. \quad (5)$$

Параметрами оптимизационной задачи (1)—(5) являются величины n , m , векторы \mathbf{a} и \mathbf{b} , матрицы $\|C_{ij}\|$ и $\|K_{ij}\|$. Через эти параметры выражаются взаимосвязи между техническими и экономическими показателями ТКС с одной стороны и грузопотоком на орбиту — с другой.

Грузоподъемность ракеты m_{ij} выступает одним из неявных ограничений задачи, от нее зависит величина $K_{ij \max}$ — максимально возможное количество КА i -го типа на ракете-носителе j -го типа. Определение m_{ij} проводится путем интерполяции справочных данных для рассматриваемых ТКС или по эмпирическим зависимостям. Более подробно модель и подготовка исходных данных рассмотрены в [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе этой модели и соответствующих баз данных по носителям и космическим аппаратам нами проведены исследования сравнительной конкурентоспособности ТКС на различных сегментах рынка транспортно-космических услуг. Ниже излагаются результаты исследований для основного (по стоимости) сегмента — запусков коммерческих КА

на геостационарную орбиту в рассматриваемый период (без разбивки по годам).

Получены оптимальные по критерию минимума суммарной стоимости фрахтов распределения КА по ТКС для десятилетней программы запусков с использованием современного и перспективного парка носителей. При этом для носителей «Протон», «Ariane» и «Зенит-3SL» рассмотрены две возможности: каждый носитель одним пуском может вывести один аппарат, и каждый носитель одним пуском может вывести один либо два КА в соответствии со своими энергетическими возможностями. Сами распределения ввиду их громоздкости приводить не будем, ограничимся долями рынка, рассчитанными по ним.

Для современного парка ТКС (без учета «Зенит-3SL») вся программа запусков КА рассматриваемого десятилетия распределяется по носителям следующим образом: «Ariane-5» — 47 пусков, CZ-3В — 59, «Протон-16» и «Delta-2» — 25, что составляет 50, 30, 10 и 10 % рынка по стоимости услуг соответственно. Доли остальных ТКС оказались нулевыми.

Далее исследовалось влияние изменения цены пуска на конкурентоспособность носителя. Влияние эффекта, обусловленного возможными колебаниями страховой ставки не учитывалось, поскольку разница между максимальным и минимальным уровнями ставок для мирового парка носителей в настоящее время составляет 2—3 % (страховые ставки составляют около 12—15 %), а диапазон изменения цены пуска в расчетах составлял 25—40 %.

Уменьшение стоимости пуска РН «Протон» с 80 до 70 млн долл. не изменяет приведенного выше распределения (при неизменных стоимостях пусков остальных носителей). При значительном (до 60 млн долл.) уменьшении стоимости пуска доля рынка носителя «Протон» увеличится до 15 %, а доля «Ariane-5» — соответственно уменьшится. Уменьшение стоимости пуска «Atlas-3A» с 70 до 60 млн долл. позволит ему выйти на «оптимальный» рынок и занять на нем 6 % за счет «Ariane-5».

С выходом на рынок транспортно-космических услуг носителя «Зенит-3SL» со стоимостью пуска 75 млн долл. картина существенно изменяется: «оптимальный» рынок делят всего три ТКС. «Ariane-5» получает 20 %, CZ-3В — 35 % и «Зенит-3SL» — 45 %.

Уменьшение стоимости пуска РН «Протон» (с 80 до 70 млн долл.) позволяет ему занять 10 % рынка за счет «Зенит-3SL». Уменьшение стоимости пуска «Atlas-3A» с 70 до 60 млн долл. в этих условиях к перераспределению рынка не приводит.

При выходе на рынок носителя со стоимостью пуска 30 млн долл. и массе выводимого полезного груза до 2000 кг (например, типа «Циклон-4» [4]) происходит перераспределение рынка в его пользу только за счет ТКС «Зенит-3SL»: «Циклон-4» получает 20 %, а доля «Зенит-3SL» уменьшается с 45 до 25 %). Уменьшение стоимости пуска носителя «Циклон-4» до 25 млн долл. к изменению этого соотношения не приводит.

Проанализирована также ситуация возможного появления на рынке «дешевых» носителей. Для этого в состав конкурентов введено гипотетическое семейство из трех носителей (назовем все семейство G, а носители — G-1, G-2 и G-3) со стоимостями пуска 25, 35 и 40 млн долл. и массами выводимого полезного груза на GTO 1400, 2500 и 3000 кг соответственно (это примерно соответствует заявленным характеристикам семейства носителей GSLV [4]). В этом случае ситуация на рынке резко изменяется: семейство получает 30 %, носитель «Ariane-5» с рынка вытесняется полностью, доля рынка у носителей CZ-3B уменьшается на 10 %. Доли «Зенит-3SL» и «Циклон-4» на рынке не изменяются. Отметим, что этот результат имеет место при условии, что производственные возможности полностью удовлетворяют потребности рынка в носителях G (это 60 носителей в год) и полностью направлены на производство носителей G-3. При производстве в год 30 носителей G-1 и 30 G-3 доля всего семейства G остается той же, но рынок CZ-3B увеличивается вдвое за счет носителя «Циклон-4» (носитель G-1 забирает рынок у РН «Циклон-4», а G-3 — у CZ-3B).

Перейдем к главной цели нашей работы — анализу динамики изменения показателей конкурентоспособности ТКС «Зенит-3SL» от заявленной цены пуска.

В качестве опорных рассмотрены четыре уровня цены пуска: 60, 65, 70 и 75 млн долл. Отметим, что заявленная цена пуска РН «Зенит-3SL» — 85 млн долл. [4]. Характеристики остальных носителей приняты также в соответствии с [4]. Результаты расчетов по количеству пусков, доходов, долей рынка (по стоимости) ТКС «Зенит-3SL» за рассматриваемый период в 10 лет приведены в таблице и на рис. 2.

Как видим, оптимальная стоимость пуска носителя «Зенит-3SL» составляет 65 млн долл. В этом случае он значительно увеличивает свои доходы и долю рынка (за счет носителя CZ-3B). Но это достигается при условии, что стоимости пуска остальных носителей не уменьшаются. Отметим, что при возможности выведения за один пуск только одного аппарата количество пусков «Зенит-3SL»

Результаты расчета дохода и долей рынка

Стоимость пуска, млн долл.	Количество пусков	Доход, млрд долл.	Доля рынка, %
60	90	5.400	69
65	90	5.850	70
70	31	2.170	27
75	31	2.325	28

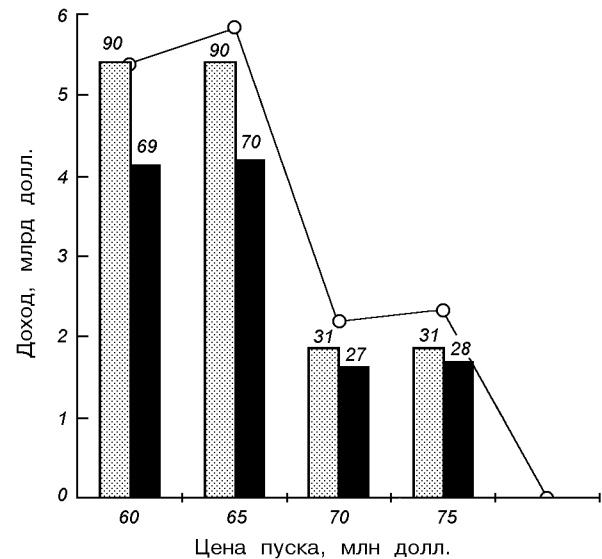


Рис. 2. Количество пусков, доход и доля рынка «Зенит-3SL» при различных уровнях цены пуска

уменьшается до 10.

При уменьшении стоимости пуска носителя CZ-3B с 60 до 55 млн долл. «Зенит-3SL» даже при стоимости пуска 60 млн долл. может рассчитывать на 31 пуск и доход 1860 млн долл. (27 % рынка). На 61 пуск «Зенит-3SL» при стоимости пуска 60 млн долл. может рассчитывать (при такой же стоимости пуска РН CZ-3B) при условии отсутствия на рынке носителя G-3 или при повышении стоимости его пуска с 40 до 60 млн долл.

Наконец, если будет реализована возможность запуска трех КА одним пуском «Зенит-3SL», его доля на рынке запусков на геостационарную орбиту при стоимостях пуска 70 и 75 млн долл. существенно возрастет. Количество пусков увеличится с 31 до 49, доход — до 3675 млн долл., а доля рынка достигнет 46 %. При стоимости в 60 млн долл. достигаются следующие показатели: 79 пусков, 4740 млн долл. дохода и 65 % рынка.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены вопросы возможной стратегии ценовой политики при выходе на рынок космических услуг носителя «Зенит-3SL». Показано, что оптимальная стоимость пуска носителя «Зенит-3SL» составляет 60—65 млн долл. а перспективное направление его развития — обеспечение возможности одновременного запуска на геостационарную орбиту трех космических аппаратов. Это дает потенциальную возможность освоения до 65 % рынка транспортно-космических услуг по запускам на геостационарную орбиту.

1. Гольдштейн Ю. М., Дорошкевич В. К., Ковалев Б. А., Кузнецов В. И. Математическая модель для оценки конкурентоспособности транспортных космических систем // Техническая механика.—1999.—№ 1.—С. 63—68.
2. Isakowitz S. J. International Reference Guide to Space Launch Systems: 2-nd ed. — Washington, DC: Publ. by AIAA.—1994.—341 p.

3. Jane's Space Directory: 13-th ed. / Ed. Ph. Clark. — Couisdon, UK: Jane's Information Group, 1997—1998.—553 p.
4. Launchers of the World: Data as of May 24, 1999. // Int. Space Industry Report (ISIR).—1999.—3, N 5.—P. 31—34.
5. Villain R., Brenke B., Chenard S. Launch Service Market Survey, Worldwide Prospects: 1996—2006. — Paris: Euroconsult, 1996.—120 p.

ESTIMATION OF SPACE TRANSPORTATION SYSTEM ZENIT-3SL COMPETITIVENESS

V. K. Doroshkevich, V. I. Kuznetsov,
B. A. Kovalev, and Yu. M. Goldstein

We analyze the competitiveness of the space transportation system Zenit-3SL in the global market of the commercial GEO-missions. The analysis is based on an original economic-mathematical model in which the summary cost of freights of competitive launchers is minimized. Our research within the framework of this model showed that Zenit-3SL has a potential possibility of assimilating up to 65 % of the GEO-missions market.