

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В данной статье рассматривается подход к формированию параметров объектов ракетно-космической техники, учитывающий процессы коммерциализации в космической сфере деятельности. Важным условием эффективности разработок космической техники в условиях рыночных отношений является учет и прогнозирование показателей, определяющих экономическую целесообразность создания новой техники, в частности количественный анализ влияния конкурентоспособности на параметры изделий. В соответствии с этим целью работы является разработка информационно-аналитических средств определения технических, экономических и вероятностных параметров ракетно-космической техники, позволяющих учесть влияние факторов рыночной экономики. Поставленная цель достигается путем построения аналитических моделей, описывающих связи между техническими, экономическими и вероятностными параметрами системы и основанных на представлении о том, что главным требованием, предъявляемым к ракетно-космической технике, в связи с ее дороговизной, является работоспособность. Учитывая то, что мерой работоспособности является надежность, которая существенно влияет как на технические, так и на экономические показатели, в качестве параметров оптимизации были приняты показатели надежности. Используя связь технико-экономических и вероятностных показателей, по критерию прибыли определяют оптимальные нормы надежности, а затем – технические и экономические параметры системы. Предложенный подход реализован в виде программного обеспечения, позволяющего в диалоге с ЭВМ осуществлять выбор основных параметров ракет-носителей и космических аппаратов, проводить многокритериальное сравнение альтернативных вариантов космической техники, прогнозировать конкурентоспособность. Разработанная информационная технология позволит учесть требования международных законов и стандартов безопасности, повысить эффективность проектирования ракетно-космической техники, будет способствовать созданию конкурентоспособной продукции.

У даній статті розглядається підхід до формування параметрів об'єктів ракетно-космічної техніки, що враховує процеси комерціалізації в космічній сфері діяльності. Важливою умовою ефективності розробок космічної техніки в умовах ринкових відносин є врахування і прогнозування показників, що визначають економічну доцільність створення нової техніки, зокрема кількісний аналіз впливу конкурентоспроможності на параметри виробів. Згідно з цим метою роботи є розробка інформаційно-аналітичних засобів визначення технічних, економічних і імовірнісних параметрів ракетно-космічної техніки, які дозволяють врахувати вплив факторів ринкової економіки. Поставлена мета досягається шляхом побудови аналітичних моделей, що описують зв'язок між технічними, економічними та імовірнісними параметрами системи і базуються на уявленні про те, що головною вимогою, що пред'являється до ракетно-космічної техніки, у зв'язку з її дорожнечою, є працездатність. Враховуючи те, що мірою працездатності є надійність, яка істотно впливає як на технічні, так і на економічні показники, в якості параметрів оптимізації були прийняті показники надійності. Використовуючи зв'язок техніко-економічних і імовірнісних показників, за критерієм прибутку визначають оптимальні норми надійності, а потім – технічні та економічні параметри системи. Запропонований підхід реалізований у вигляді програмного забезпечення, що дозволяє в діалозі з ЕОМ здійснювати вибір основних параметрів ракет-носіїв і космічних апаратів, проводити багатокритеріальне порівняння альтернативних варіантів космічної техніки, прогнозувати конкурентоспроможність. Розроблена інформаційна технологія дозволить врахувати вимоги міжнародних законів і стандартів безпеки, підвищити ефективність проектування ракетно-космічної техніки, сприятиме створенню конкурентоспроможної продукції.

An approach to formation of parameters for rocket-space technology products is examined considering the commercialization processes in the space activities. Account and prediction of the factors of an economical advisability for creating the new facilities, in particular, the quantitative analysis of the effects of competitiveness on the product parameters play a dominant role in the efficient developments of space technology. Thus, the work aim is to develop information and analytical resources for determination of the technical, economical and probabilistic parameters of rocket and space technology taking into account the effects of market-oriented economy factors. The goal to be sought is attained by building the analytical models describing links between technical, economical and probabilistic parameters of the system and based on the assumption that the serviceability is the main requirement imposed upon rocket and space technology. Taking into account that a measure of the serviceability is the reliability that essentially affects both technical and economical factors, the reliability indexes have been accepted as the optimization parameters. Using links between technical, economical and probabilistic factors, the optimal standards of the reliability and subsequently the technical and economical system parameters are determined from the profit criterion. The proposed approach is realized in the form of software allowing the choice of the main parameters of launch vehicles and spacecraft during the dialogue with the computer, a multi-criterion comparison between alternatives of space technology, prediction of competitiveness. The developed information technology allows consideration of requirements of the international laws and safety standards, improvement in the efficiency of development of rocket and space technology, promotion of

© В. М. Мамчук, О. М. Савоник, Л. Г. Жукова, 2013

Техн. механіка. – 2013. – № 1.

Постановка задачи. Для принятия рационального решения и обоснованного выбора типа ракеты-носителя (РН), типа космического аппарата (КА) и их проектных параметров необходимо принимать во внимание тенденции развития мировой экономики и мирового рынка космических услуг, прогноз макроэкономических показателей развития национальной экономики, наличие кадрового потенциала, ресурсов, технологий, сложившейся кооперации и перспектив ее развития, а также многие другие факторы [1].

Важным условием эффективности разработок космической техники является анализ и прогнозирование экономических показателей, характеризующих прибыль и определяющих экономическую целесообразность создания новой техники. При этом расчет конкурентоспособности наукоемких проектов высокой стоимости (какими являются изделия космической техники) должен обеспечивать необходимую достоверность результатов путем использования всей информации, имеющейся на момент проектирования. Об актуальности данного положения свидетельствуют многочисленные публикации (например, [2 – 4]). В частности, анализ экономических факторов должен включать количественный анализ влияния конкурентоспособности на параметры изделий (что особенно важно в условиях рыночной экономики).

Определение параметров и обоснование оптимальных вариантов изделий ракетно-космической техники тесно связаны с проблемами выбора в уникальных ситуациях, или, по терминологии [5], со слабо структурированными проблемами. Основные особенности таких проблем заключаются в том, что: решения принимаются на основе прогнозов развития мировой космической индустрии и мирового рынка космических услуг; анализу подлежат большое число вариантов (альтернатив); решения зависят как от количественных, так и от качественных признаков; выполнение принятых решений требует больших вложений различных ресурсов и содержит элементы риска. Сложность таких задач требует создания, поддержания и развития информационных технологий проектирования ракетно-космической техники с учетом факторов рыночной экономики.

Решение задачи. Задача определения технических, экономических и вероятностных параметров объектов ракетно-космической техники может быть решена с помощью предложенной информационной технологии, основу которой составляет программное обеспечение, отвечающее нормам и требованиям, предъявляемым к системам поддержки принятия решений. Разработанная технология проектирования ракет-носителей и космических аппаратов включает в себя следующие виды работ:

- сбор информации по заданным n типам ракет-носителей и m типам космических аппаратов за предшествующие годы: количестве пусков (в том числе коммерческих), стоимостях и массах полезных нагрузок $G_{ПН}$, номенклатуре решаемых задач, стоимости услуг, массах обеспечивающих и целевых комплексов и др. (шаг 1);

- прогнозирование временных рядов доходов и определение тенденций изменения технико-экономических показателей проектируемых изделий методами регрессионного и корреляционного анализов (шаг 2);

- прогнозная оценка показателей конкурентоспособности (шаг 3);

- оценка срока морального старения, т. е. определение срока целесообразной эксплуатации РН и КА (шаг 4);

- сбор и анализ статистических данных о затратах по ранее эксплуатировавшимся РН (КА), построение зависимостей, связывающих затраты с характеризующими факторами (шаг 5);
- прогнозирование затрат на РН, выводящие на орбиты различные полезные нагрузки $G_{ПГ}$ (шаг 6);
- выбор оптимального значения полезной нагрузки $G_{ПГ}^*$, оптимальной массы КА – $G_{КА}^*$ (шаг 7);
- определение параметров изделий методами традиционного проектирования на основе критерия минимальной стартовой массы РН с учетом выбранного значения $G_{ПГ}^*$ (шаг 8);
- расчет зависимостей «стоимость – надежность», «масса – надежность» для систем РН (зависимостей «масса – интенсивность отказа», «стоимость – интенсивность отказа» для систем КА) и нормирование показателей надежности (шаг 9);
- определение оптимальных значений показателей надежности P_i^* для систем изделий при ограничениях на массу $G_{ПГ}^*$ ($G_{КА}^*$) и конечную скорость (шаг 10);
- расчет технико-экономических параметров (определение толщин, вида и кратности резервирования, режимов работы, комплектующих и т.д.) на основе найденных оптимальных значений надежности P_i^* (шаг 11);
- прогнозирование для различных вариантов изделий квантили показателя экономической эффективности (шаг 12);
- сравнение альтернативных вариантов РН (КА) и выбор предпочтительного варианта (шаг 13).

Одной из главных особенностей предлагаемого подхода является учет факторов рынка, в основе которого лежит анализ и прогноз конкурентоспособности космической техники (под конкурентоспособностью понимается свойство рассматриваемого объекта быть востребованным при наличии на рынке его альтернатив, объектов-аналогов).

Необходимо отметить, что конкурентоспособность прямо не зависит от затрат на разработку и производство изделия (потребителя не интересуют затраты производителя). Зависимость этих факторов проявляется опосредованно через влияние затрат на технико-экономические показатели изделий. Определяющим среди показателей, характеризующих конкурентоспособность дорогостоящих технических изделий, является показатель их надежности.

Кроме технико-экономических факторов, на конкурентоспособность могут влиять и многие другие, например политические факторы [6]. В конечном итоге конкурентоспособность отражает фактический спрос на рынке предложений однородных продуктов и услуг.

Исходя из этого, в качестве меры конкурентоспособности принимается соответствующая технической системе доля рынка (в стоимостном выражении) за определенный период времени.

Структура программного обеспечения (рис. 1), реализующего основные процедуры рассматриваемой технологии, может быть представлена в виде следующих программных блоков:

- блок «Прогнозирование дохода и затрат» используется для расчета по статистическим данным стоимости разработки нового изделия;

– блок «Определение конкурентоспособности по статистическим данным», при работе с которым используются экономические, технические и вероятностные показатели изделий-конкурентов, применяется на шаге 3 для оценки коэффициентов конкурентоспособности;

– блок «Определение зависимостей «масса – надежность», «стоимость – надежность» систем РН» и блок «Определение зависимостей «масса – интенсивность отказа», «стоимость – интенсивность отказа» систем КА» используются для построения соответствующих зависимостей. При проведении расчетов в этих блоках используются следующие исходные данные:

- данные по массе, стоимости и надежности систем РН;
- данные по массе, стоимости и интенсивности отказов систем КА;

– блок «Вычисление вероятностных показателей» используется для расчета показателей надежности (интенсивностей отказов) и других вероятностных показателей в случае, когда объем необходимых статистических данных является достаточным для получения точной вероятностной оценки;

– блок «Гарантированная оценка экономических, технических и вероятностных показателей» используется для расчета показателей надежности и других вероятностных показателей (например, для прогнозирования на шаге 12 значения квантили чистого дохода) при недостаточном объеме статистической информации;

– блок «Выбор оптимальных параметров РН» («Выбор оптимальных параметров КА») используется для определения оптимальных показателей надежности систем РН (КА):

– для работы блока «Выбор оптимальных параметров РН» необходимы следующие исходные данные:

- зависимости «масса – надежность», «стоимость – надежность» систем РН;
- количество ступеней РН;
- удельный импульс тяги каждой ступени;
- количество систем (без полезной нагрузки на последней ступени), соответствующих конечной и начальной массам каждой ступени;
- требуемая конечная скорость;
- данные по РН-конкурентам;
- цена пуска;
- масса полезной нагрузки m_n ;
- значение надежности РН-аналога;
- прогнозируемая суммарная потребность в пусках массы m_n на требуемую орбиту;
- интегральный показатель конкурентоспособности (находится на шаге 7);

– для работы блока «Выбор оптимальных параметров КА» необходимы следующие данные:

- зависимости «масса – интенсивность отказа», «стоимость – интенсивность отказа» для систем КА;



Рис. 1

- количество видов аппаратуры целевого комплекса;
- производительность аппаратуры каждого вида;
- средняя за время эксплуатации цена продукции, соответствующая решению задачи определенного вида;

- стоимость эксплуатации;
- данные по КА-конкурентам (в том числе цена услуг);
- прогнозируемая суммарная потребность в предоставляемых услугах;
- интегральный показатель конкурентоспособности (находится на шаге 7).

В зависимости от типа локальных критериев, на шаге 13 для сравнения вариантов РН (КА) и выбора наилучшего варианта используются следующие блоки:

– блок «Построение решающего правила на основе шкал градаций качественных критериев» применяется для построения единой порядковой шкалы на множестве качественных локальных критериев;

– блоки: «Построение одномерных функций доверия», «Построение многомерного распределения (функции доверия интегрального критерия)», «Построение интегрального критерия для совокупности количественных локальных критериев» последовательно применяются для совокупности количественных локальных критериев;

– блок «Ранжирование альтернатив» применяется для сравнения альтернативных вариантов РН (КА) и выбора предпочтительного варианта.

Разработанное программное обеспечение содержит следующие базы данных (БД): основных характеристик РН и КА, критериальная БД (используется для формирования необходимого набора критериев и сравнения альтернатив), БД характеристик систем РН и КА (используется для нормирования показателей надежности).

Программное обеспечение содержит также модели:

- технико-экономических показателей РН и КА;
- функций работоспособности систем РН и КА.

Выводы. Разработанное программное обеспечение позволяет Лицу, принимающему решение, в диалоге с ЭВМ вырабатывать решения по выбору основных технико-экономических параметров РН и КА, прогнозировать конкурентоспособность, осуществлять многокритериальное сравнение альтернативных вариантов космической техники при наличии как количественных, так и качественных показателей, исходя из собственной политики и собственной системы ценностей.

Поскольку начальные этапы проектирования характеризуются существенной неопределенностью исходных данных, в расчетах используются методы условно-гарантированного оценивания показателей, которые позволяют исключить получение их неоправданно завышенных значений.

Внедрение разработанных моделей, алгоритмов и программного обеспечения в настоящее время возможно только лишь частично, т. к. применение полученных результатов при разработке ракет-носителей и космических аппаратов предполагает использование исходных данных, характеризующих надежность (λ -характеристики, физико-механические свойства материалов и т. п.), трудоемкость разработки, изготовления и эксплуатации изделий. Сбор и анализ таких данных в Украине почти не ведется. Поэтому для полной реализации возможностей разработанной информационной технологии и ее практического применения необходимо проведение работ по расширению, пополнению и совершенствованию указанных баз данных и моделей.

1. *Автономов В. Н.* Создание современной техники : Основы теории и практики / *В. Н. Автономов.* – М. : Машиностроение, 1991. – 304 с.
2. *Черномаз П. А.* Международный маркетинг / *П. А. Черномаз.* – Харьков : Изд-во «Консум», 2002. – 150 с.
3. *Брахман Т. Р.* Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / *Т. Р. Брахман.* – М. : Радио и связь, 1984. – 288 с.
4. *Цай Т. Н.* Конкуренция и управление рисками на предприятиях в условиях рынка / *Т. Н. Цай, П. Г. Грабовый, Бассан Сайел Марашда.* – М. : Аланс, 1997. – 288 с.
5. *Ларичев О. И.* Наука и искусство принятия решений / *О. И. Ларичев.* – М. : Наука, 1979. – 200 с.
6. *Гольдштейн Ю. М.* Математическая модель для оценки конкурентоспособности транспортных космических систем / *Ю. М. Гольдштейн, В. К. Дорошкевич, Б. А. Ковалев, В. И. Кузнецов* // *Техническая механика.* – 1999. – № 1. – С. 63 – 68.

Институт технической механики
НАН Украины и ГКА Украины,
Днепропетровск

Получено 23.10.12,
в окончательном варианте 04.03.13