

А. Н. Алимпиев

КРИТЕРИИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ СТЕПЕНИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ ИЗДЕЛИЙ В СОСТАВЕ ПАРКА ТЕХНИКИ

Предложены критерии рациональности степени многофункциональности технических изделий, обеспечивающих работу парка техники. Критерии разработаны с учетом особенностей функционирования системы более высокого уровня иерархии, нежели система, предусматривающая функционирование отдельно взятых технических изделий.

Criteria of rationality of degree of multifunctionality of the technical park providing functioning of park of equipment are offered. Criteria are developed taking into account features of functioning of system of higher level of hierarchy, than the system providing functioning of separately taken technical products.

Ключевые слова: изделие, критерии, многофункциональность, образец, парк техники, рациональность.

Keywords: item, criteria, multifunction, model, equipment park, rationality.

Как известно, процесс создания новых и усовершенствование существующих образцов техники проходит четко определенные этапы жизненного цикла изделий. В этих этапах одно из ключевых мест принадлежит созданию концепции проектируемого технического объекта, при обосновании которой формируется целевое назначение будущего образца, доказывається целесообразность его создания (в первую оче-



редь — экономическая) и формируется его тактико-технический облик. Целевое назначение и облик перспективного образца непосредственно выражают полезный эффект, который может быть получен вследствие создания технического изделия (одного или совокупности — парка техники) и его использования, то есть его потребительскую ценность. Поэтому от удачного решения задачи формирования концепции создаваемого технического объекта всецело зависит успех всего проекта. Решаемая в ходе формирования концепции образца исследовательская задача относится к классу задач синтеза, а корректность постановки такой задачи определяется корректностью выбора критериев, по которым определяется удовлетворяющее решение.

В последнее время развитие техники различного назначения характеризуется попытками создания высокоэффективных универсальных образцов, способных выполнять различные функции по своему назначению. При этом функциональные задачи, возлагаемые на образец, могут быть как в некоторой степени схожими, так и существенно различными. Примером может служить множество технических изделий: в бытовой технике это различного вида комбайны, например кухонные, в которых сочетаются определенные технические устройства, приводимые от одного и того же двигателя и управляемые от одной и той же системы управления. В специальной технике это многофункциональные машины и механизмы, например сельскохозяйственные комбайны, комбинированные дорожные, строительные машины и т.п. В военной технике — многофункциональные тактические истребители, ударно-разведывательные комплексы, поисково-спасательные авиационные или морские комплексы и др.

В то же время анализ процессов функционирования такого рода многофункциональных технических изделий показывает, что они способны выполнять различные функции лишь только в какой-то последовательности операций, но не одновременно. При этом придание образцу технического изделия свойств многофункциональности в обязательном порядке влечет за собой существенное удорожание образца в сравнении с его однофункциональными аналогами. Возрастание стоимости многофункционального изделия объясняется необходимостью удовлетворения зачастую противоречивых потребительских требований к многообразию его свойств. В итоге универсальное по назначению техническое изделие является результатом достижения некоторого компромисса противоречивых свойств и, как правило, по каждой из возлагаемых на него функций оказывается менее эффективным, нежели специализированное техническое изделие.

В этой связи для доказательности экономической целесообразности придания техническому изделию свойств многофункциональности требует четкого выяснения рационального уровня его многофункциональности, что, в свою очередь, обуславливает необходимость наличия соответствующих, желательно формализованных, критериев степени такой многофункциональности.

Анализ известных подходов к решению задач синтеза тактико-технического облика многофункциональных технических изделий свиде-



тельствует, что рационализация степени многофункциональности перспективного образца осуществляется путем компромиссного сочетания различных свойств изделия, достигаемого в прогнозируемых технических и технологических условиях. При этом используемая система критериев степени многофункциональности ограничивается лишь рассмотрением проявления свойств изолированно взятого технического изделия без учета их проявления в процессе функционирования всей совокупности технических объектов — так называемых парков техники.

В существующих методических подходах схема решения задачи обоснования тактико-технического облика многофункционального изделия для перспективного парка разнородной техники строится в следующей последовательности. Сначала реализуется синтез облика многофункционального изделия как компромиссная совокупность значений определяющих его эффективность показателей свойств. Затем для уже синтезированного облика изделия устанавливается необходимое для заданного уровня решения возложенных целевых задач парком техники количество экземпляров изделий в составе парка. В результате найденное оптимальное сочетание всех свойств изделия как изолированного технического объекта зачастую оказывается далеким от рационального для системы высшего уровня — парка разнородных технических изделий, в совокупности решающих определенный перечень целевых разнородных задач.

Названного недостатка можно избежать, если перейти к решению обратной задачи синтеза технического изделия, рассматривая обобщенные показатели потребительского его качества, одновременно являющиеся частными показателями для результативности функционирования всего парка техники. Предположим, что потребный результат от использования парка техники конкретного типа по выполнению каждой i -й из I возложенных функций является заданным и равен R_i . Также известно количество некоторого типа существующей специализированной техники, необходимое для получения такого же результата при выполнении данной функции, выбираемого в качестве средства измерения (эталона) $N_{эmi}$. Тогда для каждой целевой задачи парка техники можно ввести обобщенный показатель потребительского качества техники в выполнении i -й функции — коэффициент потенциальной эффективности k_i как отношение потребного количества для достижения заданного результата техники эталонного типа к потребному количеству (для того же результата) перспективной многофункциональной техники $N_{мфи}$:

$$k_i = \frac{N_{эmi}}{N_{мфи}}. \quad (1)$$

Чем большей потенциальной эффективностью обладает оцениваемая техника, тем меньше ее количество необходимо для получения фиксированного результата R_i и тем выше значение обобщенного показателя потенциальной эффективности. При решении задачи синтеза технического облика коэффициент потенциальной эффективности



перспективного изделия является искомой величиной и в соответствии с основными положениями теории квалиметрии зависит от совокупности значений показателей свойств изделий — определяющих технических характеристик техники данного вида:

$$k_i = k_i(h_1, h_2, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}), \quad (2)$$

где $h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}$ — множество показателей технических характеристик, описывающих совокупность свойств изделия при выполнении целевой задачи i -го типа.

Из выражения (1) вытекает условие эквивалентной по достижению результата выполнения i -й целевой задачи (функции) и замене количества техники одного типа (например, эталонного) на другую технику (например, многофункциональную), которое с учетом выражения (2) описывается следующим образом:

$$k_i(h_1, h_2, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi})N_{\text{мфи}} = N_{\text{эти}}. \quad (3)$$

Требуемое для достижения результата количество эталонной техники назовем потенциалом парка в выполнении целевой задачи i -го типа P_i .

Уровень качества изделия в определенной мере определяет уровень затрат на его создание, содержание (эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт) и применение. Тогда можно предположить существование некоторой связи между показателями свойств изделия и обобщенным уровнем затрат c_1 , приходящихся на один экземпляр техники данного типа из всего ее парка:

$$c_1 = f(k_i(h_1, h_2, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi})). \quad (4)$$

Таким образом, при наличии известной квалиметрической модели (2) выражение (3) обеспечивает связь между показателями свойств технического изделия и результативностью функционирования парка техники в выполнении конкретной целевой задачи. Тем самым с учетом выражения (4) создаются предпосылки для формализации критериев рациональности технического облика, а следовательно, и рациональности степени многофункциональности перспективного технического изделия.

Для решения задач синтеза облика сложных технических систем наиболее широкое применение нашли критерии оптимальности типа «эффективность — стоимость» [1–3]. Как известно, такие критерии используются в двух основных формах, соответствующих так называемой прямой и обратной задачам квалиметрии [4]. В прямой задаче отыскивается вариант технического облика изделия, при котором обеспечивается достижение максимального результата от функционирования изделий в решении каждой из поставленных целевых задач при наложении четко заданных ограничений на расходующие обобщенные ресурсы. В обратной задаче квалиметрии отыскивается такой вариант технического облика изделия, при котором в каждой из поставленных целевых задач обеспечивается заданный уровень эффекта при минимально необходимых обобщенных затратах ресурсов.

При этом должна быть учтена не только потенциальная возможность парком многофункциональной техники выполнять весь пере-



чень поставленных перед ним целевых задач, но и способность реализации парком техники имеющегося у него потенциала в технологическом процессе функционирования.

Если для формализации критериев рациональности степени многофункциональности технического изделия принять вышеописанные квалиметрические подходы к оцениванию потенциальной эффективности сложной технической системы, то задача синтеза технического облика перспективного многофункционального изделия примет следующий вид:

42

$$\left\{ \begin{array}{l} k_i(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}) \sum_{r=1}^R \delta_{ir} (\Delta X_{ir}) \rightarrow \max, \text{ где } i = 1, I; \\ S = [[C_1(h_{11}, \dots, h_{M1}) + C_{1экc}]X] + [\sum_i C_{1из} \sum_{r=1}^R \delta_{ir} (\Delta X_{ir})] \leq S_{зад}; \\ k_i(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}) \leq k_{i\max}; \\ h_{mi\min} \leq h_{mi} \leq h_{mi\max}, \text{ где } i = 1, I; m = 1, M; \\ X = \sum_{ir} (\Delta X_{ir}) \leq X_{\max}; \\ \Delta X_{ir} \in Z_+ \text{ где } r = 1, R; \\ k_i(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}) \geq 0, \end{array} \right. \quad (5)$$

где (ΔX_{ir}) – r -я часть общей численности многофункциональных изделий в парке техники, которая в одном цикле применения парка может быть выделенной для выполнения i -й целевой задачи (функции), значение которой подлежит определению в процессе синтеза решения; δ_{ir} – символ, определяющий возможность $\delta_{ir} = 1$ или невозможность выполнения i -й целевой задачи (функции) r -й частью общей численности многофункциональных изделий, исходя из условий применения парка (возможной последовательности выполнения операций) $\delta_{ir} = 0$; $C_{1экc}$ – затраты ресурсов на эксплуатацию одного экземпляра технического изделия на всем протяжении назначенного срока службы; $C_{1из}$ – стоимость выполнения соответствующей целевой задачи (функции), эквивалентная обобщенным затратам ресурсов; $S_{зад}$ – заданный суммарный объем выделяемых ресурсов в стоимостном выражении; $k_{i\max}$, $h_{mi\min}$, $h_{mi\max}$ – ограничения, накладываемые на уровень технических характеристик синтезируемого технического изделия исходя из различного рода условий – научно-технических, технологических, производственных; X_{\max} – ограничения на общую численность парка технических изделий.

Физический смысл задачи оптимизации (5) состоит в поиске множества таких значений технических характеристик перспективного многофункционального изделия $\{h_{11}, h_{21}, \dots, h_{M1}, h_{12}, h_{22}, \dots, h_{M2}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{M1}\}$ и потребного их количества в парке техники, при которых достигается максимальная результативность функционирования парка при выполнении всей совокупности возложенных на него задач и при условии, что затраты ресурсов не превосходят выделяемого объема. При этом одно-



временно отыскиваются рациональные значения коэффициентов потенциальной эффективности изделия по каждой из целевых задач и их соотношения, то есть рациональная степень его многофункциональности. Следует отметить, что наличие в математической задаче оптимизации (5) нескольких целевых функций (их количество равно количеству целевых задач $- I$), обуславливает многокритериальность задачи и, как следствие, — существенную сложность ее корректного решения.

В случае постановки задачи оптимизации технического облика изделия в форме обратной задачи квалиметрии ее формализованный вид изменится, а сама задача станет однокритериальной — с одной целевой функцией:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_i(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}) \sum_{r=1}^R \delta_{ir}(\Delta X_{ir}) \geq P_{зад}, \quad \text{где } i = 1, I; \\ S = [[C_1(h_{11}, \dots, h_{M1}) + C_{1экс}]X] + [\sum_i C_{1из} \sum_{r=1}^R \delta_{ir}(\Delta X_{ir})] \rightarrow \min; \\ k_i(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}) \leq k_{i\max}; \\ h_{mi\min} \leq h_{mi} \leq h_{mi\max}, \quad \text{где } i = 1, I; \quad m = 1, M; \\ X = \sum_{ir} (\Delta X_{ir}) \leq X_{\max}; \\ \Delta X_{ir} \in Z_+ \quad \text{где } r = 1, R; \\ k_i(h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{mi}, \dots, h_{Mi}) \geq 0, \end{array} \right. \quad (6)$$

где $P_{зад}$ — заданный уровень потенциала парка технических изделий в решении каждой из целевых задач (функций).

Физический смысл задачи оптимизации (6) состоит в поиске таких значений показателей свойств изделия и значений обобщенных показателей его качества — коэффициентов потенциальной эффективности, при которых каждая из возложенных на парк техники целевая задача выполняется на уровне, не меньшем заданного и при минимально необходимых затратах ресурсов.

Как и в предыдущем случае, возможно определение соотношений коэффициентов потенциальной эффективности изделия, и соответственно рациональной степени его многофункциональности.

Математические задачи (5) и (6) представляют собой нелинейные целочисленные задачи. Однако задача (6), в отличие от задачи (5), является однокритериальной, и для нее существует хорошо зарекомендовавший себя в практике арсенал численных методов решения.

Степень нелинейности задач оптимизации технического облика многофункционального изделия будет существенно зависеть от вида квалиметрических моделей (2), описывающих проявление его свойств при выполнении возлагаемых целевых задач, а также от вида зависимости (4). В случае, если такие модели будут иметь линейную форму, то задачи (5) и (6) могут быть сведены к решению задач линейного программирования. В случае использования более сложных форм выбор эффективного метода поиска решения будет требовать дополнительных методических исследований.



Таким образом, предложены критерии рациональной степени многофункциональности технических изделий, которые в формализованном виде позволяют осуществлять постановку математических задач синтеза технического облика перспективного образца техники с учетом возможности реализации его потенциальной эффективности при функционировании в составе парка.

Список литературы

1. *Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М.* Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники : монография. Харьков, 2008.
2. *Николаев В.И., Брук В.М.* Системотехника. Методы и приложения. Л., 1995.
3. *Матвиевский С.Ф.* Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. М., 1987.
4. *Семон Б.Й., Леонтьев О.Б., Котов О.Б. и др.* Сучасний метод бойових потенціалів в прикладних задачах планування розвитку та застосування тактичної авіації. Киев, 2009.

Об авторе

Андрей Николаевич Алимпиев — ВрИО начальника университета «Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба».

E-mail: profedu39@mail.ru

About the author

Andrey Nickolaevich Alimpiev — acting chief of university, Kozhedub Air Force University, Kharkov.

E-mail: profedu39@mail.ru