

УДК 681.322

О. Е. ФЕДОРОВИЧ, Ю. И. СЕРГЕЕВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Украина

ОБОСНОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ НАУКОЕМКОЙ ТЕХНИКИ

Предложен метод рационального выбора проектных решений по созданию нового образца сложной техники (СТ) с учетом инновационности и затрат на всем жизненном цикле (ЖЦ) создания СТ. Выбор компонентных решений зависит от экспертных оценок, которые учитывают процентное соотношение инновационных компонент в проекте создаваемой СТ. В зависимости от представления получаемых экспертных оценок (количественные, качественные) определены два основных направления для решения поставленной задачи. В первом направлении для выбора рационального решения используется метод целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. Для качественных экспертных оценок (второе направление) используется метод, основанный на лингвистическом представлении и лексикографическом упорядочивании альтернативных вариантов.

Ключевые слова: инновационные компоненты, жизненный цикл, затраты на создание нового образца техники, оптимизация, лексикографическое упорядочивание.

Введение

Конкурентоспособность сложной техники (СТ) определяется инновационностью проектных, конструкторских и технологических решений на всем жизненном цикле СТ. Для обеспечения качества выпускаемой продукции и ее надежности при эксплуатации проектировщики часто применяют компоненты повторного использования (КПИ), которые выбираются из прошлого опыта в виде существующих конструкторских и технологических решений [1]. Рациональное сочетание инновационных (новых) компонент и компонент из прошлого опыта позволяют получать оптимальные решения, которые обеспечивают конкурентоспособность, качество и цену СТ для потребителей на рынке. Поэтому тема предлагаемой публикации, в которой ставится и решается задача рационального сочетания инновационности и опыта прошлых разработок при создании наукоемкой СТ, является актуальной.

Постановка задачи исследования

Представим жизненный цикл (ЖЦ) сложной техники в виде следующих этапов [2]:

1. НИОКР, на котором определяется структура и основные компоненты СТ с использованием существующих конструкторских решений.
2. Подготовка производства СТ, на котором формируются новые технологические процессы с учетом типовых технологических решений.
3. Производство СТ, на котором с использованием существующего и нового технологического оборудования создаются продукты СТ.

4. Эксплуатация СТ, на котором с помощью сервисных центров обслуживания осуществляется гарантийное регламентное обслуживание и ремонт СТ.

5. Утилизация СТ, на котором с помощью специального технологического оборудования и специалистов осуществляется утилизация техники.

Оценку проектных решений на всех этапах ЖЦ СТ ($i=1...5$) будем осуществлять с помощью следующих показателей:

- затраты на приобретение материалов и комплектующих – C_m ;
- затраты на приобретение технологического оборудования – C_t ;
- затраты на привлечение и переучивание специалистов – C_c ;
- время необходимое на освоение новой СТ с учетом разработки новых конструкторских, технологических и производственных решений – T ;
- прибыль предприятия от реализации новой продукции, которая зависит от сложности СТ и спроса на рынке – P ;
- риски, связанные с освоением новой СТ и реализации ее на рынке – R .

Выбор новой СТ для развития предприятия связан с формированием и оценкой множества (W) альтернативных решений на всех этапах ЖЦ СТ. Введем процентное соотношение инновационных решений (инновационные компоненты) – ИР на каждом этапе ЖЦ для оценки конкретных альтернативных вариантов создания СТ. Тогда путем экспертного оценивания множества альтернативных вариантов W можно получить экспертные кривые зависимости показателей создания новой СТ от ИР

проранжировав варианты с учетом полученных оценок. Интуитивно понятно, что затраты, риски и время освоения СТ будут возрастать с учетом увеличения ИР. Но с учетом возможной конкурентоспособности новой СТ будет расти прибыль предприятия при реализации продукции на рынке потребителей СТ (рис. 1).

Обоснование рационального сочетания инновационных решений и компонент прошлого опыта, с учетом конкурентоспособности и спроса на рынке и является целью данной работы.

Решение задачи исследования

Решение задачи исследования зависит от вида полученных экспертных оценок:

- экспертные оценки представлены количественно;
- экспертные оценки представлены качественно (присутствует большая неопределенность, что затрудняет получить количественные оценки);
- экспертные оценки носят смешанный характер (количественный и качественный).

Рассмотрим методы решения для каждого из перечисленных направлений.

1. Экспертные оценки носят количественный характер. В этом случае для обоснования и оптимизации решений по выбору альтернативного варианта создания новой СТ можно воспользоваться методом целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. Введем переменную $x_{ij} \in \{0, 1\}$, которая $x_{ij} = 0$, когда для i -го этапа ЖЦ не взят j -й вариант (конструкторское, технологическое и др. решение) и $x_{ij} = 1$, когда j -й взят для создания СТ.

Условием для x_{ij} является:

$$\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} = 1,$$

где n_i – количество возможных альтернативных вариантов для i -го этапа ЖЦ.

Представим показатели для оценки проектных технических и технологических решений на всех этапах ЖЦ с учетом переменных x_{ij} в следующем виде:

$$C_M = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Mij} x_{ij},$$

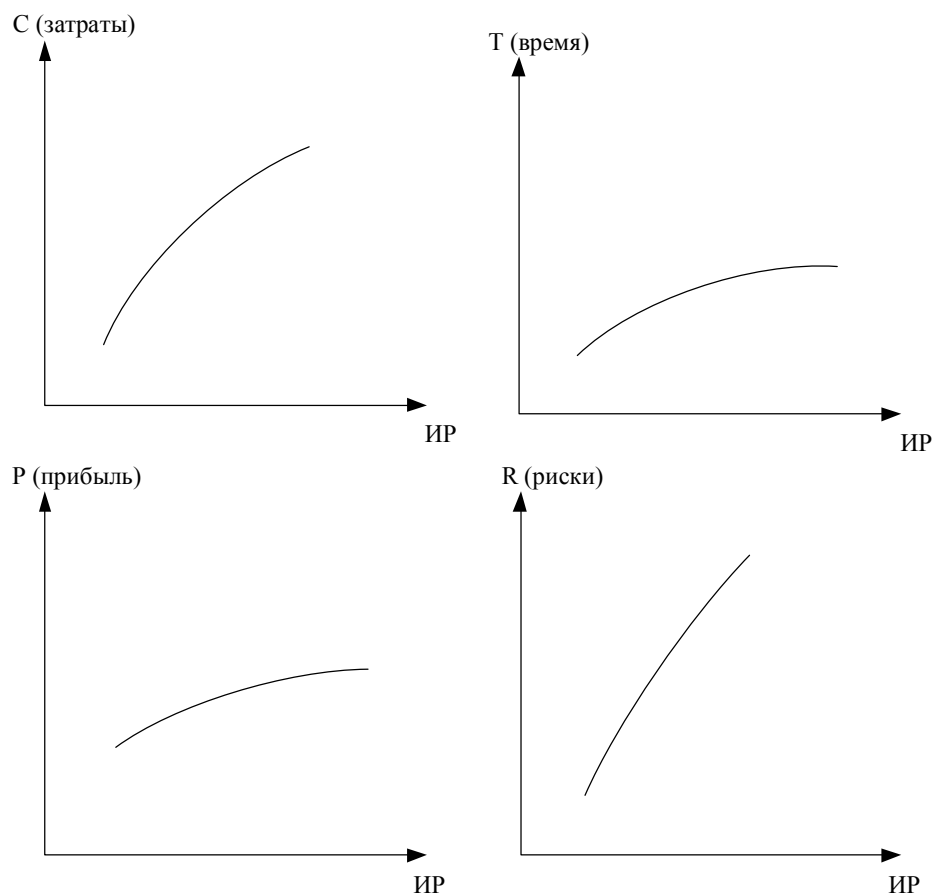


Рис. 1. Вид графических зависимостей основных показателей освоения новой СТ от значения ИР

$$C_T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Tij} x_{ij},$$

$$C_C = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{cij} x_{ij},$$

$$T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij},$$

$$P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} x_{ij},$$

$$R = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij}.$$

Оптимизацию показателей C, T, P, R проведем в два этапа.

1.1. Оптимизация локальных (отдельных) показателей:

1.1.1. Минимизация затрат с учетом всех этапов ЖЦ СТ.

Необходимо найти минимум C:

$$C = C_M + C_T + C_C = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Mij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Tij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{cij} x_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$T \leq T_{\text{доп}}; T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij};$$

$$P \geq P_{\text{доп}}; P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} x_{ij},$$

$$R \leq R_{\text{доп}}; R = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij},$$

где $T_{\text{доп}}, P_{\text{доп}}, R_{\text{доп}}$ – допустимые значения показателей.

1.1.2. Минимизация времени освоения новой СТ с учетом всех этапов ЖЦ:

Необходимо найти минимум T.

$$T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$C \leq C_{\text{доп}},$$

$$C_M = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Mij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Tij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{cij} x_{ij};$$

$$P \geq P_{\text{доп}}; P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} x_{ij};$$

$$R \leq R_{\text{доп}}; R = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij}.$$

1.1.3. Максимизация прибыли предприятия с учетом всех этапов ЖЦ СТ:

Необходимо найти максимум P:

$$P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} x_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$C \leq C_{\text{доп}},$$

$$C_M = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Mij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Tij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{cij} x_{ij};$$

$$T \leq T_{\text{доп}}; T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij};$$

$$R \leq R_{\text{доп}}; R = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij}.$$

1.1.4. Минимизировать риски, связанные с освоением новой техники.

Необходимо найти минимум R:

$$R = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$C \leq C_{\text{доп}},$$

$$C_M = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Mij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{Tij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{cij} x_{ij};$$

$$T \leq T_{\text{доп}}; T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij};$$

$$P \geq P_{\text{доп}}; P = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} x_{ij}.$$

1.1.5. Многокритериальная оптимизация. В этом случае необходимо минимизировать обобщенный показатель V, связанный с освоением новой СТ:

$$V = \alpha_c \hat{C} + \alpha_t \hat{T} + \alpha_p \hat{P} + \alpha_r \hat{R},$$

где $\alpha_c, \alpha_t, \alpha_p, \alpha_r$ – «весовые» коэффициенты, связанные с важностью показателей, назначенные экспертами в области освоения новой техники.

$$\alpha_c + \alpha_t + \alpha_p + \alpha_r = 1,$$

$$\hat{C} = \frac{C - C^*}{C_{\text{доп}} - C^*}, \hat{T} = \frac{T - T^*}{T_{\text{доп}} - T^*},$$

$$\hat{P} = \frac{P^* - P}{P^* - P_{\text{доп}}}, \hat{R} = \frac{R - R^*}{R_{\text{доп}} - R^*},$$

где C^* , T^* , P^* , R^* – экстремальные значения показателей, полученные путем решения задач 1.1.1 – 1.1.4.

$$V = \frac{\alpha_c}{C_{\text{доп}} - C^*} \times \left(\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{M_{ij}} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{T_{ij}} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{P_{ij}} x_{ij} \right) + \frac{\alpha_T}{T_{\text{доп}} - T^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij} - \frac{\alpha_P}{P^* - P_{\text{доп}}} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} x_{ij} + \frac{\alpha_R}{R_{\text{доп}} - R^*} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij} x_{ij} - \frac{\alpha_c \cdot C^*}{C_{\text{доп}} - C^*} - \frac{\alpha_T \cdot T^*}{T_{\text{доп}} - T^*} + \frac{\alpha_P \cdot P^*}{P^* - P_{\text{доп}}} - \frac{\alpha_R \cdot R^*}{R_{\text{доп}} - R^*}.$$

2. Качественное представление и оценка показателей освоения новой СТ.

В этом случае из-за большой неопределенности исходных данных, связанных, например, с отсутствием статистики влияния инновационных соотношений ИР% на показатели освоения характеристики новой СТ, эксперты затрудняются оценить и представить в количественном представлении значения показателей.

Предлагается ввести качественные оценки в виде букв латинского алфавита, которые соответствуют следующим представлениям:

А соответствует:

- низкие затраты;
- короткий период времени освоения СТ;
- высокая прибыль;
- минимальные риски.

В соответствует:

- удовлетворительные затраты;
- удовлетворительный период времени;
- достаточная прибыль;
- удовлетворительные значения рисков.

Д соответствует:

- большие затраты;
- большой период времени;
- удовлетворительная прибыль;
- высокие значения рисков.

Е соответствует:

- непопустительные высокие затраты;
- слишком большой период времени;
- недостаточная прибыль;
- слишком большие риски.

Используя качественные значения А, В, D, Е каждый альтернативный вариант из множества W можно охарактеризовать в виде некоторого «слова»,

представляющего набор значений всех показателей освоения новой СТ. Упорядочим позиции внутри «слова» таким образом, что на первой позиции находится значение самого важного показателя освоения СТ, а на последней – наименее важного.

Тогда сравнение вариантов для выбора наилучшего осуществляется путем сравнения «слов». Для этого рассмотрим «слова» упорядоченные, как это делается в словарях, с использованием лексикографического упорядочивания вариантов. Тогда множество W будет представлять собой список в вершине которого после упорядочивания находится самый лучший вариант, который может быть использован при освоении СТ с учетом заданного по важности ряда критериев С, Т, Р, R. Рассмотрим иллюстративный пример.

Пусть задана важность критериев в виде ряда: Р, С, Т, R, где прибыль соответствует наиболее важному показателю, а риски – наименее важному.

Имеется 5 возможных вариантов для сравнения. Каждый из этих вариантов получил качественные оценки по всем критериям с использованием значений А, В, D, E:

1. А, D, D, E
2. В, В, D, D
4. А, D, В, D
3. D, А, В, В

Составим список вариантов с учетом лексикографического упорядочивания:

4. А, D, В, D
1. А, D, D, E
2. В, В, D, D
3. D, А, В, В

Из полученного списка видно, что наиболее подходящий вариант освоения СТ является четвертый вариант, у которого: высокая прибыль, большие затраты, удовлетворительный период времени освоения СТ, высокие риски.

3. Смешанное представление оцениваемых значений показателей освоения СТ.

В этом случае можно воспользоваться процедурой фашификации и дефашификации с использованием функций принадлежности для перевода количественных значений показателей в качественные и наоборот. После этого оптимизация и выбор варианта освоения СТ осуществляется либо с помощью количественного (1-я постановка задачи) либо с помощью качественного представления показателей (2-я постановка задачи).

Выводы

Предлагаемый подход целесообразно использовать на начальных этапах освоения новой техники, когда необходимо учитывать инновационность проекта и выбрать рациональный вариант с учетом задаваемых показателей освоения СТ.

Литература

1. Компонентне проектування інформаційних управляючих систем [Текст] : учбов. посібник / О. Є. Федорович, К. О. Западня, А. В. Попов, Ю. І. Сергєєва. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. Авіац. Ін-т», 2009. – 120 с.

2. Федорович, О. Е. Компонентное проектирование аэрокосмической техники [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, Е. С. Яшина, И. В. Белецкий. – Х. : Нац. Аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2012. – 180 с.

Поступила в редакцію 2.04.2014, рассмотрена на редколлегии 11.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. экономико-математического моделирования В. М. Вартачан, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ОБГРУНТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПРИ СТВОРЕННІ НАУКОЄМКОСТНОЇ ТЕХНІКИ

О. Є. Федорович, Ю. І. Сергєєва

Запропоновано метод раціонального вибору проектних рішень по створенню нового зразка складної техніки (СТ) з урахуванням інноваційності та затрат на всьому життєвому циклі (ЖЦ) створення СТ. Вибір компонентних рішень залежить від експертних оцінок, які враховують процентне співвідношення інноваційних компонент в проекті створюваної СТ. Залежно від уявлення одержуваних експертних оцінок (кількісні, якісні) визначено два основних напрямки для вирішення поставленої задачі. У першому напрямі для вибору раціонального рішення використовується метод цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними. Для якісних експертних оцінок (другий напрямок) використовується метод, заснований на лінгвістичному представленні і лексикографічному упорядкуванні альтернативних варіантів.

Ключові слова: інноваційні компоненти, життєвий цикл, витрати на створення нового зразка техніки, оптимізація, лексикографічне упорядкування.

JUSTIFICATION AND OPTIMIZATION OF PROJECT DECISIONS AT CREATION OF KNOWLEDGE-INTENSIVE TECHNIQUE

O. Ye. Fedorovich, J. I. Sergeyeva

The method of rational choice of making decisions on the creation of a new model of complex techniques (CT) with the innovation and cost throughout the life cycle (LC) establishing CT is proposed. Component selection decisions depend on expert assessments that take into account the percentage of innovative components in the project created by CT. Depending on the representation received by expert assessments (quantitative, qualitative) identified two main areas for the task. In the first direction to select the method of rational solutions of integer linear programming with Boolean variables. A method based on pre-linguistic representation and the lexicographical ordering of alternatives is used for expert assessments (second direction).

Keywords: innovative components, life cycle, the cost of creation a new standard of technique, optimization, lexicographic ordering.

Федорович Олег Евгеньевич – д-р техн. наук, профессор, заведуючий кафедрой информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Сергеева Юлия Игоревна – мл. науч. сотр. кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: bulgakova@ukr.net.