

**МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ НА
ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ РОБОТИ
З РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

Анотація. Запропоновано систему аналітичних співвідношень для проведення розрахунків очікуваних витрат на реалізацію дослідно-конструкторських робіт з розробки систем і виробів ракетно-космічної техніки з урахуванням невизначеності даних.

Ключові слова. Дослідно-конструкторська робота, очікуваний корисний ефект, очікувані витрати, ракетно-космічна техніка.

Постановка проблеми

Ухвалення рішення про включення в державну цільову науково-технічну програму проектів повинно прийматися тільки на основі ретельно виконаної оцінки очікуваної ефективності з урахуванням можливих потенційних ризиків. Одною з основних складових частин критерію ефективності є очікувані витрати. Звідси випливає актуальність розробки методичних підходів до розрахунку витрат на дослідно-конструкторські роботи з ракетно-космічної техніки.

Стан проблеми

На сьогодні в Україні сформована методологічна база для розробки методичного забезпечення розрахунків очікуваних витрат на реалізацію науково-технічних проектів та очікуваного корисного ефекту [1, 2], а також розрахунків показника технічного рівня [3]. Методологія з оцінки потенційних ризиків при розрахунку витрат на дослідно-конструкторські роботи з ракетно-космічної техніки в умовах невизначеності даних авторами не виявлена. Виходячи з цього в статті описана система аналітичних співвідношень для проведення розрахунків очікуваних витрат на реалізацію дослідно-конструкторських робіт з розробки систем та виробів ракетно-космічної техніки з урахуванням невизначеності даних.

Постановка завдання

Мета - підвищення якості техніко-економічного обґрунтування дослідно-конструкторських робіт з космічної техніки.

Задача - розробка методичних підходів до розрахунків витрат, що необхідні для реалізації дослідно-конструкторських робіт з космічної техніки.

Основні положення

Очікувані витрати та очікуваний корисний ефект – ключові показники на основі яких приймаються рішення про доцільність реалізації ДКР створення систем і виробів ракетно-космічної техніки.

При розрахунках очікуваних затрат не можуть бути використані загально відомі методи такі як метод калькуляції та метод економічних елементів тому що використання таких методів можливе лише при наявності проектно-конструкторської та технологічної документації (ця документація є кінцевим результатом ДКР). З причини високої технічної та структурної складності та новизни конструкції створюваної РКТ практично не можливе застосування параметричних методів.

З огляду на це необхідна розробка системи аналітичних виразів для оцінки очікуваних витрат на створення виробів ракетно-космічної техніки, які найбільш повно враховують її особливості.

Зважаючи на технічну складність та новизну виробів РКТ що розробляються величина очікуваних витрат не може бути детермінованою. Так вихідні дані, що входять в аналітичний вираз, мають невизначеність, яка не може бути в загальному випадку зведена до ймовірнісної невизначеності через відсутність необхідного обсягу статистичних даних.

Зважаючи на це розрахована величина очікуваних витрат буде випадковою величиною з невідомим законом розподілу.

Для вирішення завдання розрахунку очікуваних витрат будемо вважати, що витрати на виконання ДКР Z_{OKP} можуть бути представлені у вигляді суми номінальних затрат Z_{OKP}^H і випадкової складової δZ_{OKP} .

$$Z_{OKP} = Z_{OKP}^H + \delta Z_{OKP}.$$

Величина $Z_{ОКР}^n$ може бути розрахована по побудованій системі аналітичних співвідношень за умови використання найбільш очікуваних значень вихідних даних.

Введемо наступні обмеження на випадкову величину $\delta Z_{ОКР}$:

- математичне очікування дорівнює нулю, а дисперсія дорівнює σ^2 ;
- випадкова величина розподілена за усіченим зліва нормаль-ному закону розподілу.

Виходячи з наведених припущень задача розрахунку очікуваних витрат на ДКР може бути зведена до вирішення трьох більш простих задач:

- побудова системи аналітичних співвідношень;
- побудова технічної системи підготовки вихідних даних;
- побудова виразу для обчислення середньоквадратичного відхилення σ .

Склад і послідовність виконання підготовчих робіт для прове-дення розрахунків:

- визначення складу, основних технічних і експлуатаційних характеристик нових зразків ракетно-космічної техніки (космічні системи, ракетно-космічні комплекси, критичні технології);
- розробка схеми розподілу на складові частини кожного ново-го зразка (декомпозиція закуплених і запозичених виробів на складові частини не проводиться);
- визначення за кожним компонентом схеми розподілу на складові частини його технічних і експлуатаційних характеристик;
- вибір виробів-аналогів для нових компонентів, що розробля-ються;
- збір і аналіз вихідних даних за виробами-аналогами, прове-дення оцінки достовірності даних;
- приведення вартісних показників виробів-аналогів до економічних умов базового року;
- визначення центральних елементів і уточнення їх технічних і експлуатаційних характеристик (центральним елементом в ракетно-космічних комплексах та космічних системах є перший льотний до-слідний зразок: для ракетно-космічних комплексів – ракета-носій (РН), для космічних систем – космічний апарат (КА).

Вибір виробів-аналогів здійснюється за наступними основними ознаками:

- функціональним призначенням;
- умовами експлуатації;
- принципом дії;
- конструктивно-технологічними характеристиками.

Для кожного вітчизняного виробу-аналога визначаються основні фактичні (чи проектні, якщо аналоги перебувають на стадії ДКР) техніко-економічні характеристики:

– основні технічні й експлуатаційні характеристики (показники технічної ефективності);

– загальні витрати на ДКР виробу-аналога і їх розподіл (в %) за етапами проектування: (аванпроект і ескізний проект), розробка робочої конструкторської документації (РКД) для виготовлення й проведення випробувань дослідних зразків, виготовлення й наземні випробування експериментальних зразків;

– питома вага матеріальних витрат і витрат на оплату праці за кожним етапом;

– питома вага матеріальних витрат і витрат на оплату праці в витратах на виготовлення й випробування першого дослідного зразка виробу-аналога і його складових частин;

– число експериментальних зразків, виготовлених для проведення наземних випробувань;

– рівень витрат на технічну підготовку виробництва;

– рівень спадкоємності від виробів-аналогів;

– витрати на коректування РКД за результатами випробувань (частка від витрат на розробку конструкторської й технологічної документації).

Для закордонних виробів-аналогів, у випадку відсутності даних, техніко-економічні показники визначаються експертним шляхом. При цьому дані за закордонними аналогами приводяться до економічних і виробничо-технологічних умов України з урахуванням паритету купівельної спроможності національної грошової одиниці.

Наведені нижче аналітичні вирази являють собою співвідношення, які зв'язують витрати на розробку й виготовлення зразків ракетно-космічної техніки зі значеннями їх технічних і експлуатаційних характеристик.

Аналітичні співвідношення для розрахунків витрат на розробку й виготовлення виробів, що мають аналоги

$$\begin{aligned}
 Z_{ji}(t_0) &= Z_{ji1}(t_0) + Z_{ji2}(t_0) + Z_{ji3}(t_0) + Z_{ji\text{ ДЗ}}(t_0) + Z_{ji\text{ ПБ}}(t_0) + Z_{ji\text{ РКД}}(t_0), \\
 Z_{ji1}(t_0) &= Z_{ji}^a(t_0) \cdot \mu_{i1}^a \times \left[(\alpha_{i1}^a \cdot k_{i1}^{-1} + \beta_{i1}^a) \cdot (\exp(q_{i1} \cdot k_{in}) - 1) + (1 - \alpha_{i1}^a - \beta_{i1}^a) \right], \\
 Z_{ji2}(t_0) &= Z_{ji}^a(t_0) \cdot \mu_{i2}^a \times \left[(\alpha_{i2}^a \cdot k_{i2}^{-1} + \beta_{i2}^a) \cdot (\exp(q_{i2} \cdot k_{in}) - 1) + (1 - \alpha_{i2}^a - \beta_{i2}^a) \right], \\
 Z_{ji3}(t_0) &= Z_{ji}^a(t_0) \cdot \mu_{i3}^a \times \left[(k_{i\text{ TP}}^\gamma (\alpha_{i3}^a \cdot (1 + \alpha_{i\text{ РКД}}) + \beta_{i3}^a \frac{\ln(1 - P_i)}{\ln(1 - P_i^a)}) + (1 - \alpha_{i3}^a - \beta_{i3}^a) \right], \\
 Z_{ji\text{ ДЗ}}(t_0) &= Z_{i\text{ ДЗ}}^a(t_0) \times \left[k_{i\text{ Н}}^\gamma (\alpha_{i\text{ ДЗ}}^a + \beta_{i\text{ ДЗ}}^a \frac{\ln(1 - P_i)}{\ln(1 - P_i^a)}) + (1 - \alpha_{i\text{ ДЗ}}^a - \beta_{i\text{ ДЗ}}^a) \right] + \\
 &+ \frac{\delta_{i0} \cdot \delta_{i1} \cdot Z_{i\text{ ДЗ}}^a(t) \cdot A_i}{N_i}, \\
 Z_{ji\text{ ПБ}}(t_0) &= \delta_{i0} \cdot \delta_{i1} \cdot Z_{i\text{ ДЗ}}^a(t) \cdot k_{i\text{ Н}}^\gamma, \\
 Z_{ji\text{ РКД}}(t_0) &= \alpha_{i\text{ РКД}}^a \cdot Z_{ji2}(t_0),
 \end{aligned}$$

де (t_0) - базовий рік; $Z_{ji}(t_0)$ - витрати на розробку i -го нового виробу, що входить до складу j -го виробу, який не має аналога. Витрати приведені до базового року (t_0) ; $Z_{ji1}(t_0)$ - витрати на розробку проектної документації для i -го нового виробу; $Z_{ji2}(t_0)$ - витрати на розробку конструкторської й технологічної документації, необхідної для виготовлення й випробування дослідних зразків i -го виробу; $Z_{ji3}(t_0)$ - витрати на виготовлення й випробування експериментальних зразків i -го виробу, коректування РКД за результатами експериментального відпрацювання; $Z_{ji\text{ ДЗ}}(t_0)$ - витрати на виготовлення першого дослідного зразка i -го виробу; $Z_{ji\text{ ПБ}}(t_0)$ - витрати на технічну підготовку виробництва в забезпечення виготовлення i -го виробу; $Z_{ji\text{ РКД}}(t_0)$ - витрати на коректування РКД i -го виробу після проведення випробувань;

$k_{i\text{ ДЗ}}$ - коефіцієнт конструкторської й технологічної складності виготовлення i -го зразка (визначається експертним шляхом); $\mu_{i\text{ ДЗ}}^a$, $\alpha_{i\text{ ДЗ}}^a$, $\beta_{i\text{ ДЗ}}^a$ - питомі коефіцієнти витрат з виготовлення першого дослідного зразка i -го виробу-аналога; $\alpha_{i\text{ РКД}}^a$ - питома вага витрат на

доопрацювання РКД; N_i – середньорічна програма випуску i -го нового виробу; A_i – середній коефіцієнт амортизації нового виробничого й технологічного устаткування, що використовується для виготовлення i -го виробу; $Z_{ji}^a(t_0)$ – витрати на розробку i -го виробу-аналога, приведені до базового року (t_0); μ_{i1}^a , μ_{i2}^a , μ_{i3}^a – питома вага витрат відповідно на етапах 1, 2 і 3 у загальних витратах на розробку i -го виробу-аналога; α_{i1}^a , α_{i2}^a , α_{i3}^a , $\alpha_{i\text{ДЗ}}^a$ – питома вага оплати праці у витратах по етапах розробки та виготовлення дослідного зразка i -го виробу-аналога з урахуванням відрахувань в соціальні фонди; β_{i1}^a , β_{i2}^a , β_{i3}^a , $\beta_{i\text{ДЗ}}^a$ – питома вага матеріальних витрат у витратах по етапах розробки i -го виробу-аналога; k_{i1} , k_{i2} – відносний (стосовно виробу-аналога) рівень автоматизації відповідно проектних і конструкторських робіт; k_{iH} – рівень відносної новизни нового розроблюваного i -го зразка (визначається експертним методом); $k_{i\text{ТР}}$ – відносний (стосовно виробу-аналога) показник технічного рівня нового i -го виробу, що розроблюється (розраховується за методикою аналогічній методиці, приведеної в ДСТУ 15467-79); P_i , P_i^a – рівень надійності відповідно нового виробу, що розроблюється, й виробу-аналога; $Z_{ji\text{ДЗ}}^a(t_0)$ – витрати на виготовлення першого дослідного зразка виробу-аналога, приведені до базового року (t_0); δ_{i0}^a – рівень витрат на технічну підготовку виробництва для виробу-аналога (за одиницю прийняті витрати на виготовлення першого дослідного зразка виробу-аналога); δ_{i1}^a – показник збільшення (зменшення) витрат на технічну підготовку виробництва в забезпечення виготовлення нового i -го виробу (визначається експертним методом, виходячи з основних конструкторсько-технологічних особливостей виробу, що розробляється, складу, можливостей і технічного стану наявної виробничо-технологічної й експериментальної бази); q_i , γ_i , $\alpha_{i\text{РКД}}$ – статистичні або емпіричні коефіцієнти.

Аналітичні співвідношення для розрахунку очікуваних витрат на розробку й виготовлення виробів, що не мають аналогів

$$Z_j(t_0) = Z_{j1}(t_0) + Z_{j2}(t_0) + Z_{j3}(t_0) + Z_{j0}(t_0) + Z_{j_{ПВ}}(t_0) + Z_{j_{РКД}}(t_0),$$

$$Z_{j1}(t_0) = \sum_{i=1}^{n_j} Z_{ji1}(t_0) \cdot (1 + \eta_{i1}^c),$$

$$Z_{j2}(t_0) = \sum_{i=1}^{n_j} Z_{ji2}(t_0) \cdot (1 + \eta_{i2}^c),$$

$$Z_{j3}(t_0) = \sum_{i=1}^{n_j} Z_{ji3}(t_0) \cdot (1 + \eta_{i3}^c),$$

$$Z_{j0}(t_0) = \sum Z_{ji0}(t_0) \cdot (1 + \eta_{i0}^c) + \frac{Z_{j_{ПВ}}(t_0) \cdot A_j}{N_j},$$

$$Z_{j_{ПВ}}(t_0) = \sum_{i=1}^{n_j} Z_{ji_{ПВ}}(t_0) \cdot (1 + \eta_{i_{ПВ}}^c),$$

$$Z_{j_{РКД}}(t_0) = \sum_{i=1}^{n_j} Z_{ji_{РКД}}(t_0) \cdot (1 + \eta_{i_{РКД}}^c).$$

Для виробів верхнього рівня (складну технічну систему чи підсистему) додатково розраховуються витрати на розробку й виготовлення наземного механічного й електричного допоміжного устаткування:

$$Z_{j_{НО}}(t_0) = Z_{j0}(t_0) \cdot \alpha_{j_{НО}},$$

де $Z_j(t_0)$ – витрати на створення i -го нового виробу, приведені до базового року (t_0); $Z_{j1}(t_0)$, $Z_{j2}(t_0)$, $Z_{j3}(t_0)$ – витрати відповідно за етапами: проектування, розробки РКД, виготовлення експериментальних зразків і їхнє експериментальне відпрацювання; $Z_{j0}(t_0)$ – витрати на виготовлення першого дослідного зразка; $Z_{j_{ПВ}}(t_0)$ – витрати на технічну підготовку виробництва; $Z_{j_{РКД}}(t_0)$ – витрати на корегування РКД; $Z_{j_{НО}}(t_0)$ – витрати на створення наземного механічного й електричного устаткування; η_{i1}^c , η_{i2}^c , η_{i3}^c , η_{i0}^c , $\eta_{i_{ПВ}}^c$, $\eta_{i_{РКД}}^c$ – коефіцієнти системних витрат; A_j – середній коефіцієнт амортизаційних відрахувань.

Аналітичні співвідношення для розрахунку очікуваних витрат на підготовку й проведення пуску дослідного зразка ракети-носія

Витрати на підготовку й проведення пуску дослідного зразка ракети-носія $Z_{КП}(t_0)$ включають оплату:

- транспортування РН і відповідного електромеханічного устаткування до космодрому;
- відряджень до космодрому технічного персоналу підприємств ракетно-космічної промисловості;
- підготовку РН до пуску;
- проведення пуску РН ;
- проведення операцій після запуску РН.

Вартість дослідного зразка РН ураховується у витратах на ДКР.

$$Z_{КП}(t_0) = \alpha_{СК}^c \cdot Z_{u_{СК}} + \alpha_{РН} \cdot Z_{u_{РН}},$$

де $Z_{КП}(t_0)$ – витрати на підготовку й проведення кваліфікаційних пусків РН; $\alpha_{СК}^c$, $\alpha_{РН}$ – статистичні коефіцієнти; $Z_{u_{СК}}$ – витрати на виготовлення й монтаж стартового комплексу; $Z_{u_{РН}}$ – витрати на виготовлення РН.

Аналітичні співвідношення для розрахунку очікуваних витрат на підготовку й проведення пуску дослідного зразка космічного апарата

Витрати на підготовку й запуск космічного апарата $Z_{ЗКА}(t_0)$, включають оплату:

- транспортування КА й відповідного електромеханічного устаткування до космодрому;
- відряджень до космодрому технічного персоналу підприємств ракетно-космічної промисловості;
- підготовки КА до пуску;
- фрахту ракети-носія;
- проведення операцій після запуску КА.

Вартість дослідного зразка КА враховується у витратах на ДКР.

$$Z_{ЗКА}(t_0) = \alpha_{КА}^c \cdot Z_{КА}(t_0) + S_{РН}(t_0),$$

де $Z_{зКА}(t_0)$ – витрати на підготовку й запуск КА; $\alpha_{КА}^c$ – статистичний коефіцієнт; $Z_{КА}(t_0)$ – вартість виготовлення дослідного зразка КА; $S_{PH}(t_0)$ – вартість фрахту РН.

Аналітичні співвідношення для розрахунку очікуваних витрат на експлуатацію космічної системи

Середньорічні витрати на експлуатацію космічної системи (КС) $Z_{ЕКС}(t_0)$ включають оплату:

- утримання технічного персоналу;
- технічне обслуговування наземних технічних систем;
- експлуатації технічних будинків і споруджень;
- оплату послуг систем життєзабезпечення.

Додатково в експлуатаційні витрати можуть бути включені витрати на відновлення угруповання КА, що перебуває в орбітальному польоті.

$$Z_{ЕКС}(t_0) = N_{П} \cdot Z_{П}(t_0) + \alpha_{НС} \cdot Z_{НС}(t_0) + \Delta Z_{Е}(t_0) + \Delta Z_{СЖ}(t_0),$$

$$\Delta Z_{Е}(t_0) = \alpha_{ТЗ} \cdot S_{ТЗ}(t_0),$$

$$\Delta Z_{СЖ}(t_0) = \alpha_{П} \cdot N_{П} + \beta_{НС} Z_{НС}(t_0),$$

де $N_{П}$ – середньорічна чисельність персоналу, що здійснює експлуатацію; $Z_{П}(t_0)$ – середньорічна оплата праці однієї особи з персоналу чергових змін; $Z_{НС}(t_0)$ – вартість технічного устаткування наземних станцій і центра керування польотом КА; $\Delta Z_{Е}(t_0)$ – середньорічна вартість витрат на експлуатацію існуючих технічних будинків і споруджень; $\Delta Z_{СЖ}(t_0)$ – середня величина оплати послуг систем життєзабезпечення: енерго-, тепло-, водопостачання та ін.; $S_{ТЗ}(t_0)$ – вартість технічних будинків, споруджень, засобів і систем життєзабезпечення, що використовуються при експлуатації КС; $\alpha_{НС}$, $\alpha_{ТЗ}$, $\alpha_{П}$, $\beta_{НС}$ – статистичні коефіцієнти.

**Аналітичні співвідношення для визначення величини
середньоквадратичного відхилення σ**

Приведені нижче співвідношення являються емпіричними і побудовані на основі узагальнення матеріалів розробки космічних систем РКТ. Більш коректне значення величини σ може бути одержано з використанням теорії розмитих множин та імітаційного моделювання.

$$Z_{\Phi} - Z_H = q \cdot \sigma,$$

$$P_Z = F(q, \sigma),$$

$$\sigma = \left\{ a \cdot (\exp(b \cdot \chi) - 1) + k_{\delta} \cdot \frac{1 - \delta}{3} + k_t \cdot \Delta T^{3/2} \right\} \cdot 100\%,$$

$$\chi = k_{HK}^{\alpha} \cdot k_{TP}^{\beta} \cdot k_{TC}^{\gamma} \cdot k_{TC}^* \cdot k_{TP}^*,$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1, \quad \alpha = \frac{n^* - n_1}{N}, \quad \beta = \frac{n^* - n_2}{N}, \quad \gamma = \frac{n^* - n_3}{N},$$

$$N = 3n^* - (n_1 + n_2 + n_3),$$

$$n^* = n_{\max} + 1, \quad n_{\max} = \max\{n_1, n_2, n_3\}.$$

де Z_{Φ} – можливі фактичні витрати; Z_H – номінальні фактичні витрати;

P_Z – оцінка міри ймовірності того, що фактичні витрати будуть дорівнювати Z_{Φ} ; q – коефіцієнт, що визначає ширину довірчого інтервалу; a, b, k_{δ}, k_t – статистичні коефіцієнти; χ – приведений показник складності зразка; k_{HK} – коефіцієнт новизни конструкції; k_{TP} – коефіцієнт відносного технічного рівня розробки; k_{TC} – коефіцієнт відносної технологічної складності; k_{TC}^* – максимально можливе значення k_{TC} ; k_{TP}^* – максимально можливе значення k_{TP} ; δ – середній рівень достовірності вихідних даних; ΔT – строк затримки виконання проекту з причин неритмічності фінансування, рік; α, β, γ – вагові коефіцієнти; n_1, n_2, n_3 – ступінь впливу (в балах) відповідного параметра на величину σ , $n_i \in \{0 - 10\}$, визначається методом експертних оцінок на основі аналізу заявлених технічних характеристик.

Коефіцієнт новизни конструкції $k_{НК}$ визначався наступним чином:

$k_{НК} \leq 0,1$ – проводиться незначна модернізація існуючої конструкції;

$k_{НК} = 0,11-0,20$ – проводиться середнього рівня модернізація;

$k_{НК} = 0,21-0,30$ – проводиться суттєва модернізація;

$k_{НК} = 0,31-0,40$ – проводиться глибока модернізація;

$k_{НК} = 0,41-0,50$ – розробляється нова конструкція;

$k_{НК} = 0,51-0,60$ – нова конструкція з окремими принципово новими елементами;

$k_{НК} = 0,61-0,8$ – нова конструкція з використанням в окремих елементах (за виключенням ракетних двигунів великої тяги) нових фізичних принципів;

$k_{НК} = 0,81-1,0$ – принципово нова конструкція.

Висновки

В статті приведено методичний підхід щодо розрахунків очікуваних витрат на проведення дослідно-конструкторських робіт з космічної техніки. Цей підхід був використаний при підготовці експертних висновків щодо обґрунтування вартості складових частин ДКР зі створення космічного апарата "Січ-2-1". Зазначений методичний підхід доцільно використовувати при проведенні техніко-економічного обґрунтування проектів ДКР при формуванні космічних програм України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пилипенко О. В. Эффективность научно-технических проектов и программ / О. В. Пилипенко, Е. С. Переверзев, А. П. Алпатов, та ін. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 509 с.
2. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво / Міністерство економіки з питань європейської інтеграції та Міністерства фінансів України. – Київ, 2001. – 32 с.
3. ОСТ 92-9154-74 Типовая методика оценки технического уровня объектов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.
4. Концепція реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року / Урядовий кур'єр. – 2011. – 24 травня (N92).
5. "Методичні рекомендації визначення кошторисної вартості науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) для організацій (підприємств) різних форм власності та господарювання", Міністерство освіти і науки України (2006 р.).
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 20.05.96 №830 "Про затвердження типового положення з планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт".
7. Закон України "Про оплату праці" / Урядовий кур'єр. – 2010. – 19 вересня (N194).