

М. В. НЕЧИПОРУК<sup>1</sup>, О. Є. ФЕДОРОВИЧ<sup>1</sup>, В. В. ПОПОВ<sup>2</sup>, М. С. РОМАНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна

<sup>2</sup> Акціонерне Товариство «FED», Харків, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ СПЕЦІАЛІСТІВ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ТА ВИКОНАННЯ ПРОЄКТІВ ЗІ СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ВИРОБІВ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Формулюється і розв'язується задача формування кадрового забезпечення для виконання проєктів зі створення інноваційних виробів аерокосмічної техніки (АКТ). Актуальність дослідження пов'язана з моделюванням профілів спеціалістів для набуття компетентностей, необхідних для виконання проєкту щодо створення нового виробу АКТ.

Метою дослідження є формування множини компетентностей, необхідних для виконання проєкту зі створення виробу АКТ шляхом проведення підготовки (перепідготовки) спеціалістів з урахуванням вимог галузевого професійного стандарту (ГПС) та вимог до компетентностей нового проєкту.

Велику увагу приділена архітектурі складного виробу АКТ, яка представлена у вигляді множини компонент. Базове представлення виробу (БВ) сформоване у вигляді типових компонент, створення яких пов'язане з необхідними спеціальностями та компетентностями, які відповідають вимогам ГПС. Спеціальності містять множини компетентностей, які у свою чергу, розбиваються на знання, вміння та навички. Проєкт щодо створення нового виробу АКТ включає архітектуру виробу, яка може відрізнятися від архітектури БВ, що вимагає проведення заходів щодо розробки нових компонент. Для представлення компонентної архітектури, спеціальностей та компетентностей, використано базу прецедентів (БПБВ). Порівняння архітектур нового виробу та БВ здійснюється за допомогою, як якісних так і кількісних оцінок. Для якісних оцінок використовуються лінгвістичні змінні та лексикографічне впорядкування варіантів. Кількісні оцінки використовуються для порівняння та оцінки близькості технічних характеристик компонент нового виробу та БВ. Оцінка близькості спеціальностей та компетентностей, потрібних у новому проєкті та існуючих в БПБВ, здійснюється за допомогою якісних оцінок, які представлені у вигляді літер латинського алфавіту. Побудована оптимізаційна модель для мінімізації розходження компетентностей на основі бальних оцінок. Оптимізація здійснюється з використанням цілочисельного (булевого) лінійного програмування. В якості обмежень використовуються допустимі значення витрат, часу та ризиків, пов'язаних з підготовкою (перепідготовкою) спеціалістів для виконання проєкту зі створення нового виробу АКТ. Наведено приклад формування компетентностей для виконання проєкту зі створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів.

Наукова новизна проведеного дослідження пов'язана з розробкою методу формування кадрового забезпечення для виконання інноваційних проєктів щодо створення нових виробів АКТ шляхом моделювання профілів спеціалістів з використанням компонентного та компетентностного підходів.

Результати проведеного дослідження доцільно використовувати для формування кадрового забезпечення для виконання проєкту створення інноваційного виробу АКТ зі складною компонентною архітектурою.

**Ключові слова:** профіль спеціаліста; компетентностний підхід; складний виріб; база прецедентів; компонентна архітектура; лексикографічне впорядкування; оптимізація.

### Вступ

Сучасний тренд розвитку аерокосмічної техніки (АКТ), пов'язаний зі створенням множини різнотипних високотехнологічних виробів для різних прикладних галузей використання АКТ [1 – 3]. Гостра конкуренція на ринку розробників АКТ призводить до необхідності створення нових інноваційних виробів, для яких необхідно підготувати спеціалістів з компетентностями, які відповідають знанням, вмінням та навичкам придатним для успішного виконання нового проєкту [4 – 6].

Сучасні технології створення АКТ засновані на архітектурному представленні наукоємного виробу у вигляді множини компонентів різних рівнів деталізації (фюзеляж, крило, ..., агрегати, вузли, ..., тощо). У складі нового виробу АКТ присутні компоненти з минулих розробок (КМР), компоненти, які

існують та їх необхідно адаптувати до вимог нового проєкту (КА) та нові, інноваційні компоненти (ІК), для яких необхідно провести проєктні роботи з урахуванням життєвого циклу (ЖЦ) створення АКТ (НДДКР, випробування, підготовка виробництва, виробництво) [7]. На кожному етапі ЖЦ, як для створення КМР, так і компонент КА й ІК, необхідно сформулювати кадровий склад спеціалістів для успішного виконання проєкту [8-10].

Таким чином, виникає протиріччя між прагненням підприємства, що розвивається, виконувати інноваційні проєкти зі створення нових виробів АКТ, та відсутністю необхідних компетентностей персоналу, які необхідно засвоїти в умовах обмежених можливостей підприємства [11 – 13].

Виникає складна науково-прикладна задача компромісного характеру, пов'язана з формування профілів спеціалістів здатних виконувати інноваційні проєкти з мінімальними ризиками.

Метою дослідження є моделювання компетентностей спеціалістів для виконання проєктів зі створення нових зразків АКТ.

В якості критерія для оцінки досягнення мети дослідження використовується мінімізація розбіжностей між компетентностями, які потрібні для успішного виконання інноваційного проєкту, та компетентностями які набули спеціалісти, майбутні виконавці проєкту, за допомогою проведеної підготовки (перепідготовки).

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Сформулювати послідовність проєктних робіт зі створення АКТ на основі архітектурного представлення інноваційного виробу.

2. Системно представити компонентну архітектуру нового виробу АКТ з урахуванням вимог до компетентностей спеціалістів-виконавців проєкту.

3. Сформулювати послідовність дій, пов'язаних з формуванням кадрового забезпечення інноваційного проєкту.

4. Провести моделювання міри близькості при створенні нових компонентів інноваційного виробу АКТ та для формування необхідних компетентностей спеціалістів-виконавців проєкту.

5. Оптимізувати витрати, час та ризики, пов'язані з формуванням профілів спеціалістів-виконавців інноваційного проєкту.

6. Навести приклад щодо формування компетентностей необхідних для виконання проєкту створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів.

Актуальність дослідження пов'язана з моделюванням профілів спеціалістів для набуття компетентностей, необхідних для виконання проєкту зі створення нового виробу АКТ.

## 1. Послідовність проєктних робіт щодо створення АКТ на основі архітектурного представлення інноваційного виробу

Представимо архітектуру нового виробу з урахуванням компонентного представлення та профілями спеціалістів, які відповідають вимогам до спеціальностей, компетентностей, а також знанням, вмінням та навичкам для виконання інноваційного проєкту.

Для цього, необхідно використовувати базове представлення виробу (БВ) з урахуванням потрібних спеціальностей та компетентностей, які знаходяться у галузевому професійному стандарті. З-за лінгвістичного (текстового) представлення вимог галузевих стандартів та вимог нового проєкту, для їх формалізації, необхідно використовувати, як кількісні, так і якісні оцінки.

Створення нового виробу потребує формування компетентностей спеціалістів, які можуть відрізнятися від вимог галузевого професійного стандарту. Тому необхідно здійснювати підготовку (перепідготовку) спеціалістів для оволодіння новими компетентностями [14 –16]. Необхідно оцінити близькість компетентностей спеціалістів, потрібних для розробки нового виробу та компетентностей, які знаходяться у галузевому професійному стандарті. Також, необхідно оцінити та мінімізувати витрати, час та ризики, пов'язані з підготовкою (перепідготовкою) спеціалістів для успішного виконання нового проєкту зі створення АКТ.

Основою для формування профілів спеціалістів для успішного виконання інноваційних проєктів зі створення нових виробів АКТ, є стратегія розвитку аерокосмічної галузі, яка включає програми розвитку, пов'язані з окремими видами АКТ. Проєкти, які входять до складу окремих програм, пов'язані з конкретними виробами АКТ та замовленнями на їх створення.

Представимо наступну схему зі створення нових виробів АКТ (рис. 1). Схема включає два напрями: перший напрям, пов'язаний з базовим представленням виробів одного класу (наприклад, транспортний ЛА) (рис. 1, а).

Базова архітектура АКТ складається з типових компонентів, які зарекомендували себе позитивно у минулих розробках (КМР). Це забезпечує мінімізацію витрат, часу та ризиків при виконанні проєктів зі створення типових виробів АКТ, близьких до базових.

Кадрове забезпечення для створення типових виробів АКТ, пов'язане з базовим представленням виробу та відповідає профілям спеціалістів, які представлені у галузевому професійному стандарті (ГПС).

Тому при виконанні проєктів, в яких структура АКТ близька до базової, необхідно використовувати профілі спеціалістів з компетентностями, які знаходяться у стандартах ГПС [17].

Другий напрям створення АКТ (рис. 1,б), пов'язаний з інноваційними проєктами щодо створення нових виробів АКТ.

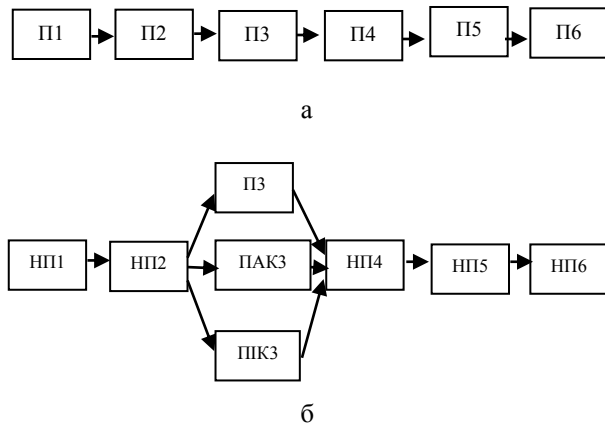


Рис. 1. Схема виконання робіт щодо створення нових виробів АКТ

Тут:

П1 – формування вимог до типового проєкту щодо створення виробу АКТ;

П2 – формування компонентної архітектури типового виробу;

П3 – розробка типових компонент;

П4 – комплексування типових компонент (КМР) з урахуванням архітектури базового виробу (БВ) АКТ;

П5 – випробування дослідного зразку АКТ;

П6 – розробка типових технологічних процесів;

НП1 – формування вимог до інноваційного проєкту щодо створення нового виробу АКТ;

НП2 – формування компонентної архітектури нового виробу АКТ;

ПАКЗ – розробка компонент (КА) шляхом адаптації до існуючих;

ПКЗ – розробка інноваційних компонент (ІК) нового виробу АКТ;

НП4 – комплексування компонент до архітектури нового виробу;

НП5 – випробування дослідного зразку нового виробу;

НП6 – розробка нових технологічних процесів.

Для виконання інноваційних проєктів необхідні спеціалісти, які володіють новими інноваційними компетентностями, які можуть відрізняються від типових. Формування нових компетентностей є однією з найскладніших задач при формуванні кадро-

вого забезпечення для виконання інноваційних проєктів.

Необхідно відмітити, що базове представлення виробу АКТ, пов'язане з акумулюванням позитивного досвіду минулих розробок, що відображено у профілях спеціалістів та їх компетентностях у ГПС [18].

## 2. Системне представлення компонентної архітектури нового виробу АКТ з урахуванням вимог до компетентностей спеціалістів-виконавців проєкту

На рис. 2 системно представлена компонентна архітектура базового виробу з урахування профілів спеціалістів для виконання типових проєктів щодо створення нових виробів АКТ.

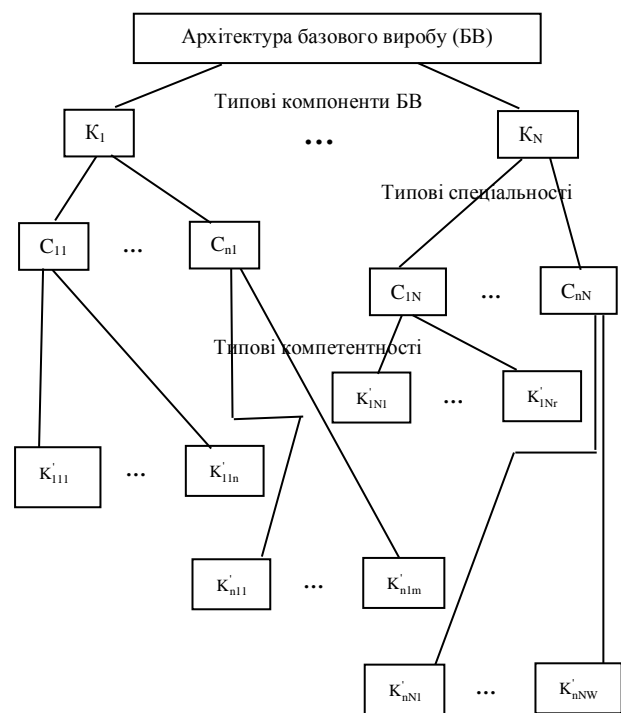


Рис. 2. Компонентна архітектура базового виробу для виконання типових проєктів щодо створення нових виробів АКТ

Тут:

$K_1, \dots, K_N$  – типові компоненти базового виробу;

$C_{11}, \dots, C_{nN}$  – спеціальності, які потрібні для виконання типових проєктів щодо створення виробів АКТ;

$K'_{111}, \dots, K'_{nNW}$  – компетентності, які відповідають ГПС та необхідні для виконання типових проєктів.

Виконання інноваційного проекту щодо створення нового виробу АКТ вимагає формування нових компетентностей та оновлення профілів спеціалістів. На рис. 3 схематично неведена компонентна архітектура інноваційного виробу АКТ.

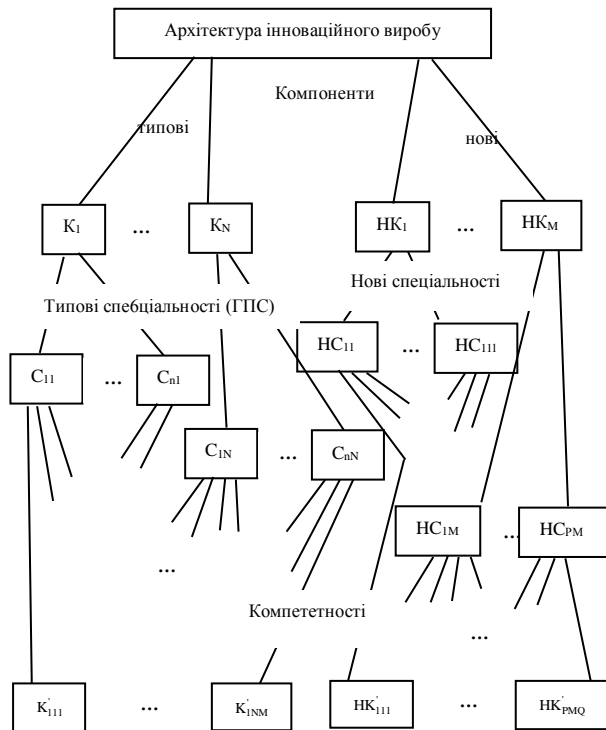


Рис. 3. Компонентна архітектура інноваційного виробу для виконання проектних робіт

Тут:

$НК_1, \dots, НК_M$  – нові компоненти;

$НС_{11}, \dots, НС_{PM}$  – оновлені спеціальності, які необхідні для створення інноваційних компонент;

$НК'_{111}, \dots, НК'_{PMQ}$  – нові компетентності.

Нові компоненти інноваційного виробу АКТ можуть бути створені шляхом адаптації типових у базовому виробу до компонент інноваційного виробу з використанням типових спеціальностей та компетентностей в ГПС. У випадку неможливості використання типових компетентностей спеціалістів для виконання інноваційних проектів, їх необхідно сформувати, шляхом зміни типових профілів спеціалістів. Для оцінки близькості типових компетентностей та нових, скористаємося прецедентним підходом. Для цього архітектуру базового виробу (рис. 2) представимо у вигляді ієрархічної бази прецедентів (БПБВ), де верхній рівень відповідає технічним характеристикам компонент базового виробу АКТ, середній – спеціальностям, які необхідні для виконання робіт для створення виробу АКТ, а на нижньому рівні знаходиться множина компетентностей,

які розкриваються на знання, вміння та навички. Таким же самим чином можна представити архітектуру нового виробу (БПНВ), в якому з'являються нові компетентності, відмінні від компетентностей в ГПС.

Необхідно відмітити, що спеціальності та компетентності для створення нових виробів АКТ обов'язково пов'язані з окремими етапами життєвого циклу (ЖЦ). Це відображається у профілях спеціалістів, які підрозділяються на управлінців (менеджерів проектів, керівників підрозділів, тощо) та виконавців проекту (інженерів, конструкторів, технологів, тощо). Порівняння архітектурних представлень нового проекту та представлення базового виробу, дозволяє виявити відсутність тих компетентностей, які необхідні для створення нових виробів АКТ [19].

### 3. Моделювання послідовності дій, пов'язаних с формуванням кадрового забезпечення інноваційного проекту

Представимо послідовність дій, необхідних для моделювання процесу формування кадрового забезпечення для виконання інноваційного проекту з створення нового виробу АКТ:

1. Проведемо порівняльний аналіз, за допомогою БПБВ, компонент, які надходять до складу нового виробу АКТ з компонентами, які входять до архітектури базового виробу АКТ. Виділимо ті компоненти у новому виробу, які відповідають типовим. Їх можна використовувати у подальшому у вигляді готових проектних рішень.

2. У випадку неповного збігу технічних характеристик компонент нового виробу та типового, необхідно створювати нові компоненти (КА) шляхом адаптації типових компонент (КМР) з урахуванням вимог до компонент нового виробу.

3. У випадку відсутності, у новому виробу, компонент базового виробу АКТ, необхідно планувати та проводити комплекс проектних робіт щодо створення нових компонент (ІК).

4. На наступному етапі проводиться формування профілів спеціалістів у вигляді множини компетентностей, необхідних для виконання проектних робіт з урахування етапів ЖЦ.

5. У випадку збігу компетентностей для спеціалістів при створенні типового базового виробу та нового виробу, профілі спеціалістів формуються у відповідності до вимог ГПС.

6. При необхідності адаптації компетентностей спеціалістів, які відповідають базовому виробу АКТ до компетентностей спеціалістів розробників нового виробу, розглядається можливість виконання захо-

дів для незначних змін існуючих профілів спеціалістів.

7. У випадку необхідності формування нових компетентностей спеціалістів для виконання інноваційного проекту, або великої віддаленості нових від типових, необхідно провести підготовку (перепідготовку) персоналу, або здійснити набір на підприємство нових спеціалістів з новими компетентностями (наприклад, випускники ЗНО за новими спеціальностями та освітніми програмами).

#### 4. Моделювання міри близькості при створенні нових компонентів інноваційного виробу АКТ та формуванні необхідних компетентностей спеціалістів-виконавців проекту

Для порівняння компонентів нового виробу АКТ з компонентами базового, будемо використовувати значення технічних характеристик, які представлені у технічному завданні (ТЗ) на розробку нового виробу АКТ. У зв'язку з тим, що технічні характеристики можуть бути представлені у ТЗ кількісно, то для оцінки міри близькості характеристик можна використовувати метрику Мінковського у вигляді евклідової відстані:

$$d_{ks} = \sqrt{\sum_{e=1}^P (\alpha_{ie} V_{eks})^2},$$

де  $d_{ks}$  – кількісне значення близькості характеристик  $k$ -го компоненту у вигляді елемента взятого із БПБВ та  $s$ -го компоненту нового виробу АКТ;

$\alpha_{ie}$  – «вага» (значимість)  $e$ -ї характеристики

$i$ -го компоненту нового виробу,  $\sum_{e=1}^P \alpha_{ie} = 1$ .

$$V_{eks} = \frac{x_{ek} - x_{es}}{\max x_e},$$

де  $x_{ek}, x_{es}$  – кількісні значення  $e$ -ї характеристики для  $k$ -ї та  $s$ -ї компонентів виробу АКТ;

$\max x_e$  – максимальне значення  $e$ -ї характеристики;

$P$  – кількість технічних характеристик.

Введемо порогове значення для визначення близькості у вигляді  $d_{ks}^*$ , яке дозволяє віднести компонент, що розробляється до класу з минулих розробок (КМР), і який можливо використовувати у вигляді типової із БПБВ:  $d_{ks}^* > d_{ks}$ .

Якщо  $d_{ks}^* \geq d_{ks} \geq d_{ks}^*$ , то в цьому випадку  $s$ -й компонент можна віднести до класу компонентів нового виробу, які будуть створені шляхом адаптації

типових (КА) взятих з БПБВ. Тут  $d_{ks}^*$  – порогове значення, пов'язане з адаптацією.

Якщо  $d_{ks} > d_{ks}^*$ , то у цьому випадку необхідно створити новий компонент (ІК), який відсутній у вигляді типового у базовому виробі АКТ.

Для порівняння компетентностей з ГПС, які знаходяться у типових профілях спеціалістів, з компетентностями, які потрібні для виконання нового проекту, доцільно використовувати якісні оцінки у вигляді значень лінгвістичної змінної, що пов'язане з лінгвістичним (текстовим) представленням профілів спеціалістів та компетентностей.

Введемо лінгвістичну змінну  $\lambda$ , значення якої представимо у вигляді літер латинського алфавіту:

$$\lambda = \begin{cases} A - \text{повне співпадання компетентностей,} \\ B - \text{висока близькість,} \\ C - \text{добра близькість,} \\ D - \text{задовільна близькість,} \\ E - \text{неспівпадання компетентностей.} \end{cases}$$

Тут, якісні значення лінгвістичної змінної  $\lambda$  можуть бути сформовані групою експертів у вигляді спеціалістів підприємства (виконавців проекту) та спеціалістів замовника.

У випадку можливого протиріччя оцінок, для їх узгодження, можна скористатися методом ELECTRA. Для порівняння якісних значень представлення компетенцій, скористаємось методом лексикографічного впорядкування варіантів. Для цього необхідно представити якісні характеристики у вигляді ряду:  $\lambda_1 < \lambda_2 \dots < \lambda_r$ , де  $\lambda_1$  – найбільш значима характеристика компетентності, а  $\lambda_r$  – найменш значима. В якості значень характеристик окремих компетентностей, можна використовувати знання, вміння та навички.

Будемо вважати, що найбільш суттєвою характеристикою компетентності є знання, менш значимими є вміння та навички. Порівняємо компетентності з профіля спеціаліста, які необхідні для розробки нового виробу, з компетентностями, які знаходяться в БПБВ та відповідають ГПС.

Розглянемо ілюстрований приклад такого порівняння. Нехай маємо 10 типових компетентностей взятих з ГПС, які подібні до компетентностей нового проекту. Представимо результати порівняння для оцінки близькості компетентностей у вигляді якісних значень. Отримаємо множину порівняних компетентностей у вигляді:

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

5. A, B, B
6. C, D, E
7. D, D, E
8. B, C, C
9. A, B, C
10. A, C, C.

Впорядкуємо лексикографічно результати порівняння якісних характеристик компетентностей. У результаті отримаємо впорядкований список:

5. A, B, B
9. A, B, C
2. A, C, D
10. A, C, C
3. B, B, C
8. B, C, C
4. B, C, D
1. C, C, D
6. C, D, E
7. D, D, E.

Зверху, у впорядкованому списку, знаходиться п'ята компетентність, яку було взято з БПБВ відповідно до вимог ГПС, і яка найбільш підходить для розробки нового виробу АКТ. Можна задати порогове значення для порівняння компетентностей до близькості у вигляді контрольного слова, наприклад,  $\boxed{B, B, B}$ . Помістимо  $\boxed{B, B, B}$  до списку та впорядкуємо його у цьому списку. Отримаємо:

5. A, B, B
9. A, B, C
2. A, C, D
10. A, C, C
- $\boxed{B, B, B}$
3. B, B, C
8. B, C, C
4. B, C, D
1. C, C, D
6. C, D, E
7. D, D, E.

В результаті впорядкування списку з урахуванням  $\boxed{B, B, B}$  можна зробити наступний висновок: будь-яку компетентність 5, 9, 2, 10 можна використовувати для розробки нового виробу АКТ шляхом її адаптації до вимог нового виробу, для чого потрібно провести підготовку (перепідготовку) персоналу.

Підготовка (перепідготовка) персоналу для формування нових компетентностей або адаптації існуючих до вимог нового проєкту, здійснюється шляхом:

- перепідготовки у галузевих центрах перепідготовки спеціалістів або у центрах перепідготовки персоналу підприємств;

- проведення дуальної форми освіти (для випускників ЗВО);

- проведення спеціалістами підприємства очних та дистанційних майстер-класів, консультацій та самостійних форм навчання, тощо.

### 5. Оптимізація витрат, часу та ризиків, пов'язаних з формуванням профілів спеціалістів-виконавців інноваційного проєкту

Для проведення заходів щодо підготовки (перепідготовки) спеціалістів необхідні: витрати –  $W$ , час на проведення навчання –  $T$ . Окрім того існують ризики –  $R$ , пов'язані з формуванням профілів спеціалістів, з компетентностями, які задовольняють вимогам проєкту зі створення нового виробу АКТ. Введемо поняття різниці  $\Delta_{ksi}$  в компетенціях проєкту та типових компетентностях в ГПС, сумарне значення яких необхідно звести до мінімуму в ході підготовки (перепідготовки) персоналу для виконання проєкту. Різницю  $\Delta_{ksi}$  між  $k$ -ї компетентності в БПБВ та потрібної компетентності у проєкті ( $s$ -а компетентність), з урахуванням  $i$ -ї спеціальності, будемо вимірювати за допомогою кількісних бальних оцінок (наприклад: 0 – значить відсутність різниці, а 10 – повна невідповідність компетентностей).

Введемо цілочисельну (булеву) змінну  $x_{ksi}$ , значення якої  $x_{ksi} = 0$  значить, що для  $k$ -ї компетентності в ГПС (БПБВ) та  $s$ -ї у новому проєкті для  $i$ -ї спеціальності буде проводиться підготовка (перепідготовка) спеціалістів, а для  $x_{ksi} = 1$  не треба проведення підготовки (перепідготовки).

В якості цільової функції будемо використовувати сумарну кількість балів  $P$ , яку необхідно мінімізувати для того, щоб досягти відповідності між компетентностями проєкту та компетентностями, отриманими у ході підготовки (перепідготовки) спеціалістів. З урахування всіх спеціальностей, які необхідні для виконання проєкту, отримаємо:

$$P = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} \Delta_{ksi} x_{ksi}.$$

Необхідно мінімізувати сумарні різницю у компетенціях потрібних у новому проєкті та компетенціях спеціалістів-виконавців проєкту, здобутих після підготовки (перепідготовки):

$$\min P, P = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} \Delta_{ksi} x_{ksi},$$

де  $N$  – кількість спеціальностей, які необхідні для виконання нового проєкту;

$n_i$  – кількість компетентностей, які необхідні для  $i$ -ї спеціальності для виконання нового проєкту;  
 $n_s$  – кількість нових компетентностей, які необхідно вивчити спеціалістам для виконання нового проєкту.

При оптимізації необхідно враховувати обмеження за витратами  $W'$ , часом  $T'$ , та ризиками  $R'$  виконання проєкту, які пов'язані з можливостями підприємства-виконавця проєкту:

$$W' \geq W, W = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} w_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$T' \geq T, T = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} t_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$R' \geq R, R = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} r_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

тут  $w_{ksi}$  – витрати, пов'язані з підготовкою (перепідготовкою) спеціалістів з урахуванням  $k$ -ї компетентності в ГПС (БПБВ) та  $s$ -ї компетентності у новому проєкті для  $i$ -ї спеціальності;

$t_{ksi}$  – час, пов'язаний з підготовкою (перепідготовкою) спеціалістів з урахуванням  $k$ -ї компетентності в ГПС (БПБВ) та  $s$ -ї компетентності у новому проєкті для  $i$ -ї спеціальності;

$r_{ksi}$  – ризики, пов'язані з підготовкою (перепідготовкою) спеціалістів з урахуванням  $k$ -ї компетентності в ГПС (БПБВ) та  $s$ -ї компетентності у новому проєкті для  $i$ -ї спеціальності;

$1 - x_{ksi}$  – значить проведення підготовки (перепідготовки), при цьому,  $x_{ksi} = 0$ .

Якщо можливості підприємства – виконавця проєкту суттєво обмежені, то у цьому випадку, необхідно мінімізувати витрати на підготовку (перепідготовку) спеціалістів з урахуванням обмежень на допустиму величину відхилення компетентностей  $P'$  у профілях спеціалістів від вимог нового проєкту, а також допустимих значень  $T', R'$ . Для цього необхідно:

$$\min W, W = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} w_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$P' \geq P, P = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} \Delta_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$T' \geq T, T = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} t_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$R' \geq R, R = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} r_{ksi} (1 - x_{ksi}).$$

У випадку пошуку компромісного рішення проміж витратами  $W$ , які пов'язані з підготовкою

(перепідготовкою) спеціалістів та можливими відхиленнями у компетентностях спеціалістів від компетентностей потрібних для виконання проєкту, введемо допоміжний критерій:

$$Q = \alpha_p P + \alpha_w W,$$

тут  $\alpha_p, \alpha_w$  – вагові коефіцієнти, які пов'язані зі значимістю показників  $P$  та  $W$  (задають експерти).

$$\alpha_p + \alpha_w = 1,$$

$$P = \frac{P - P^*}{P' - P^*}, W = \frac{W - W^*}{W' - W^*},$$

$P^*, W^*$  – мінімальні значення показників  $P, W$ , які отримані у результаті оптимізації.

Необхідно здійснити пошук компромісного рішення для  $P$  та  $W$  шляхом мінімізації  $Q$ :

$$\min Q, Q = \alpha_p P + \alpha_w W,$$

з урахуванням обмежень:

$$P' \geq P, P = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} \Delta_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$W' \geq W, W = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} w_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$T' \geq T, T = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} t_{ksi} (1 - x_{ksi}),$$

$$R' \geq R, R = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_s} r_{ksi} (1 - x_{ksi}).$$

## 6. Приклад формування компетентностей, необхідних для виконання проєкту створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів

В якості прикладу, розглянемо проєкт щодо створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів. Необхідні компетентності спеціалістів, для виконання проєкту, пов'язані з освітньою спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» та освітньо-професійною програмою «Проектування та виробництво композитних конструкцій», яка має набір нових фахових компетентностей, а також компетентностей з урахуванням галузевого професійного стандарту [20]:

ФК 1. Використовування математичного апарату під час вирішення завдань в області проектування та виробництва композитних конструкцій.

ФК 2. Здатність опису взаємодії тіл між собою, а також з газовим і гідравлічним середовищем на підставі базових знань в основних розділах фізики, механіки, електростатики, електродинаміки, оптики, аеродинаміки.

ФК 3. Здатність постановки та рішення задач проектування параметрів виробів і процесів їх виробництва;

ФК 4. Здатність робити оцінку навантаження на конструктивні елементи виходячи з умов їх експлуатації;

ФК 5. Здатність розрахунку елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, тому числі з композиційних матеріалів використовуючи знання у галузі механіки та міцності матеріалів та конструкцій.

ФК 6. Проектувати основні конструктивні елементи АКТ (лонжерони, обшивку, нервюри тощо) у тому числі з композиційних матеріалів;

ФК 7. Проводити кваліфікований вибір класу матеріалів для деталей і виробів авіакосмічної техніки на підставі знання основ будови металів та неметалів та методів модифікації їх властивостей.

ФК 8. Здатність виконувати експерименти по визначенню властивостей матеріалів, у тому числі композитів, а також описувати, аналізувати та критично оцінювати експериментальні дані.

ФК 9. Здатність використовувати відповідне програмне забезпечення (мови програмування, пакети) для проведення фізичних та математичних розрахунків в області проектування та виробництва композитних конструкцій

ФК 10. Мати обізнаність в галузі економіки і менеджменту підприємства авіакосмічної промисловості

ФК 11. Вміння розроблення типових технологічних процесів виробництва елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки у тому числі з композиційних матеріалів.

ФК 12. Розробляти технічну і конструкторську документацію для виготовлення основних елементів АКТ (у тому числі з композитів).

Для перепідготовки спеціалістів та засвоєння нових компетентностей робітниками підприємства-виконавця проекту, вважаємо, що робітники мають базові компетентності: ФК 2, ФК 3, ФК 4, ФК 7, ФК 10, ФК 12. Для формування нових компетентностей, які пов'язані з композитними конструкціями: ФК 1, ФК 5, ФК 6, ФК 8, ФК 9, ФК 11, необхідно провести перепідготовку робітників підприємства. Можливі наступні варіанти перепідготовки спеціалістів:

1. Формування повної відповідності між компетентностями спеціалістів та тих, що вимагає проєкт. При цьому необхідно засвоєння усього набору компетентностей: ФК 1 – ФК 12.

2. Неповна відповідність компетентностей спеціалістів та проєкту.

3. Перепідготовка спеціалістів проводиться тільки для компетентностей, які суттєві для виконання проєкту (ФК 6, ФК 11).

4. Перепідготовка спеціалістів не проводиться. Для виконання проєкту використовується знання, уміння та навички у вигляді базових компетентностей.

У табл. 1 наведені компетентності, витрати, час, які необхідні для проведення перепідготовки спеціалістів для виконання проєкту щодо створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів. Вказані можливі невідповідності компетентностей (%), а також ризики виконання проєкту (%).

Табл. 1

Компетентності, витрати, час, які необхідні для проведення перепідготовки спеціалістів

Варіанти	Нові компетентності	Базові компетентності	Витрати на перепідготовку (тис. грн.)	Час на перепідготовку (кількість днів)	Невідповідність компетентностей (%)	Ризик (%)
1	ФК1, ФК5, ФК6, ФК8, ФК9, ФК11	ФК2, ФК3, ФК4, ФК7, ФК10, ФК12	140	120	0	0
2	ФК1, ФК5, ФК6, ФК11	ФК2, ФК3, ФК4, ФК7, ФК10, ФК12	80	60	17	20
3	ФК6, ФК11	ФК2, ФК3, ФК4, ФК7, ФК10, ФК12	40	30	34	30
4		ФК2, ФК3, ФК4, ФК7, ФК10, ФК12	0	0	50	50

Перший варіант перепідготовки вимагає максимальних витрат (140 тис. грн) та часу на перепідготовку (120 днів). Він характеризується повною відповідністю компетентностей спеціалістів та вимог проєкту, що забезпечують, у подальшому, успішне виконання проєкту.



Для другого варіанту витрати на перепідготовку зменшено на 60 тис. грн., час на перепідготовку зменшується вдвічі (60 днів). При цьому виникає невідповідність у компетентностях виконавців та компетентностях потрібних проекту (17 %), що призводить до появи ризику (20 %) виконання проекту.

Третій варіант пов'язаний з навчанням важливих компетентностей ФК 6, ФК 11, які необхідно засвоїти спеціалістам для виконання проекту. Витрати на перепідготовку спеціалістів зменшуються майже втричі та суттєво зменшується час перепідготовки (у 4 рази), але при цьому виникає невідповідність компетентностей (34%), що призводить до збільшення ризику (30%) виконання проекту.

Четвертий варіант перепідготовки спеціалістів, пов'язаний з появою великої невідповідності компетентностей (50%). Використовуються тільки базові компетентності спеціальності. При цьому не потрібні витрати та час на перепідготовку спеціалістів, що призводить до зростання ризику (50%) успішного виконання проекту та можливого його невиконання.

Аналіз табл. 1 показав:

1. Якщо у підприємця-виконавця проекту достатньо коштів та виділений час на перепідготовку спеціалістів, то перший варіант забезпечує успішне виконання проекту після проведення перепідготовки спеціалістів.

2. Четвертий варіант небажаний, тому що має великі ризики виконання проекту.

3. Компромісні варіанти (2, 3) пов'язані з обмеженою можливістю підприємства-виконавця проекту зі створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів

## Висновки

Проведене дослідження пов'язане з моделюванням профілів спеціалістів, необхідних для виконання інноваційних проектів зі створення нових виробів АКТ. Сформована компонентна архітектура складного виробу АКТ. Для базового (типового) представлення виробу АКТ побудовано базу прецедентів, яка включає технічні характеристики компонент виробу, спеціальності та компетентності необхідні для виконання типового проекту. Інноваційний проект щодо створення виробу АКТ вимагає компетенцій спеціалістів, які можуть відрізнитися від типових компетентностей в ГПС. Це приводить до підготовки (перепідготовки) спеціалістів, необхідних для створення нових компонент виробу АКТ. Близькість компонент та компетентностей у новому проекті та у базовому виробу, оцінюється кількісно та якісно. Для кількісних оцінок близькості викори-

стано проста евклідова відстань. Якісне оцінювання здійснюється на основі значень лінгвістичної змінної у вигляді літер латинського алфавіту та використання лексикографічного впорядкування варіантів. Сформовані оцінки витрат, часу та ризиків підготовки (перепідготовки) спеціалістів для виконання нових проектів зі створення інноваційних виробів АКТ. Проведено оптимізацію витрат при виконанні проектних робіт зі створення нового виробу АКТ. При цьому було використано цілочисельне (булеве) представлення змінних та лінійне цілочисельне програмування.

Наведено приклад щодо набуття компетентностей для виконання проекту зі створення лопотів гелікоптерів з композиційних матеріалів.

Таким чином, можна стверджувати, що проведене дослідження по моделюванню компетентностей спеціалістів для виконання інноваційних проектів зі створення АКТ, яке включає комплекс розроблених моделей, заснованих на компонентній архітектурі АКТ, мінімізація розбіжностей в компетентностях, які потребує проект і компетентностях які є в наявності у виконавців проекту, мінімізація витрат, часу і ризиків для підготовки (перепідготовки) спеціалістів, повністю підтверджує виконання мети дослідження.

Використані математичні методи: системний аналіз, теорія прецедентів, компонентний метод, лексикографічне впорядкування, цілочисельна оптимізація.

Запропонований підхід дозволяє, на стадії планування нового проекту зі створення інноваційного виробу АКТ, провести заходи щодо підготовки (перепідготовки) спеціалістів для успішного виконання проекту.

**Внесок авторів:** формування проектних дій – **М. В. Нечипорук, В. В. Попов**; системне уявлення архітектури АКТ – **О. С. Федорович, В. В. Попов**; профілі та компетентності спеціалістів – **М. В. Нечипорук, М. С. Романов**; оптимізація витрат, часу, ризиків – **О. С. Федорович, М. С. Романов**. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

## Література

1. *System modeling of goals and directions in projects of innovative development of high-tech enterprise [Text] : Collective monograph / O. Ye. Fedorovych, O. S. Uruskyi, V. V. Kosenko, Yu. L. Pronchakov // In: Information systems and innovative technologies in project and program management ; edited by I. Lindle, I. Chumachenko, V. Timofeyev. – Riga, 2020. – P. 39-53. DOI: 10.30837/MMP.2020.039.*

2. Кабінет Міністрів України. Про затвердження Порядку формування державного замовлення на підготовку фахівців, наукових, науково-педагогічних та робітничих кадрів, підвищення кваліфікації та перепідготовку кадрів: Постанова № 306 від 15.04.2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/306-2013-%D0%BF#Text>. – 10.10.2021.
3. Мельник, С. В. Методологічні підходи до оцінки кадрових потреб у фахівцях з вищою освітою за спеціальностями [Електронний ресурс] / С. В. Мельник. – С. 27-30. – Режим доступу: [https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2020/06/2-na\\_sajt\\_AZ\\_Melnik\\_SV\\_Metodolog\\_pidh\\_otsinki\\_kadr\\_potr\\_fah\\_VO-final.pdf](https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2020/06/2-na_sajt_AZ_Melnik_SV_Metodolog_pidh_otsinki_kadr_potr_fah_VO-final.pdf). – 10.10.2021.
4. Dual education as a bridge between theoretical and practical knowledge [Text] / O. Fedorovych, N. Kunanets, Yu. Leshchenko, N. Veretennikova // The 1-st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), CEUR Workshop Proceedings, 18-20 February 2020. – Slavsko, Lviv region, Ukrain, 2020. – Volume 2565. – P. 295-306.
5. Федорович, О. С. Дуальна освіта як прогресивна форма якісної підготовки фахівців для інноваційного виробництва аерокосмічної техніки [Текст] / О. С. Федорович, Ю. О. Леценко, К. О. Западня // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020. – № 1(161). – С. 42-49. DOI: 10.32620/aktt.2020.1.07.
6. Model of university-industry collaboration to support internship program in Engineering Faculty of Universitas Negeri Yogyakarta [Text] / S. Sudiyatno, A. Nuryanto, S. Sutopo, I. M. Nashir // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1700. – Article No. 012028. DOI: 10.1088/1742-6596/1700/1/012028.
7. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise [Text] / O. Fedorovych, O. Uruskiy, Yu. Pronchakov, M. Lukhanin // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2021. – № 1(97). – С. 150-157. DOI: 10.32620/reks.2021.1.13.
8. Мельник, С. В. Стан та перспективи розвитку вітчизняної системи підготовки кадрів [Текст] / С. В. Мельник // Освітня аналітика України. – 2021. – № 1(12). – С. 65-80. DOI: 10.32987/2617-8532-2021-1-65-80.
9. Міністерство економіки України. Про затвердження професійного стандарту «Інженер-конструктор (механіка) з авіаційної та ракетно-космічної техніки»: Наказ № 2255 від 05.11.2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=22469103-4e36-4d41-b1bf-288338b3c7fa&title=RestrProfesiinikhStandartiv>. – 10.10.2021.
10. Work-based learning in Ukraine [Electronic resource] / European training foundation (ETF). – Available at: [https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2020-10/wbl\\_factsheet\\_ukraine\\_2020.pdf](https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2020-10/wbl_factsheet_ukraine_2020.pdf). – 10.10.2021.
11. European Commission. European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO) [Electronic resource]. – Available at: <https://ec.europa.eu/esco/portal/home>. – 10.10.2021.
12. European Commission, Directorate-General for Employment Social Affairs and Inclusion Directorate E. Trends, challenges and opportunities : final report [Electronic resource]. – Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4dfac3fa-7a0b-11ea-b75f-01aa75ed71a1/>. – 10.10.2021.
13. Russo, Dario. Competency Measurement Model [Electronic resource] / D. Russo // European Conference on Quality in Official Statistics (Q2016) Madrid, 31 May – 3 June 2016. – Available at: <https://www.ine.es/q2016/docs/q2016Final00276.pdf>. – 10.10.2021.
14. Elaborating professional qualifications in ukraine: a new approach [Text] / Oleksii Miroshnychenko, Sergii Prytomanov, Rostislav Schokin, Ievgen Romanenko, Oleksandr Datsii // Professional Pedagogics. – 2020. – Vol. 1, No. 20. – P. 4-14. DOI: 10.32835/2707-3092.2020.20.4-14.
15. Siddique, Sara. Students' Workplace Readiness: Assessment and Skill-Building for Graduate Employability [Text] / Sara Siddique, Ali Ahsan, Neda Azizi, Omid Haass // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, Iss. 3. – Article No. 1749. DOI: 10.3390/su14031749.
16. Khosravi, Saber. Identifying and Developing a Dynamic Competency Model for the University Freshmen [Electronic resource] / Saber Khosravi, Mahtab Barazandeh, Mahdi Alaeddini // DAV International Journal of Science. – 2015. – Vol. 4, Iss. 2. – P. 186-198. – Available at: [https://www.researchgate.net/publication/290440359\\_Identifying\\_and\\_Developing\\_a\\_Dynamic\\_Competency\\_Model\\_for\\_the\\_University\\_Freshmen](https://www.researchgate.net/publication/290440359_Identifying_and_Developing_a_Dynamic_Competency_Model_for_the_University_Freshmen). – 10.10.2021.
17. Національна рамка кваліфікації – Україна [Електронний ресурс] / European training foundation (ETF). – Режим доступу: [https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2022-01/ukraine\\_ua.pdf](https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2022-01/ukraine_ua.pdf). – 10.10.2021.
18. Cárdenas-Rubio, Jeisson. Classifying vacancy data at 6-digit level SOC 2020: A feasibility study [Electronic resource] / Jeisson Cárdenas-Rubio. – Coventry : Warwick Institute for Employment Research University of Warwick, 2021. – 109 p. – Available at: [https://warwick.ac.uk/fac/soc/ier/research/classifyingvacancydata/classifying\\_vacancy\\_data\\_at\\_6-digit\\_level\\_soc\\_2020\\_a\\_feasibility\\_study\\_report\\_09092021\\_format.pdf](https://warwick.ac.uk/fac/soc/ier/research/classifyingvacancydata/classifying_vacancy_data_at_6-digit_level_soc_2020_a_feasibility_study_report_09092021_format.pdf). – 10.10.2021.
19. Developing and enhancing a labour market information database: LMI for All [Electronic resource] / Sally-Anne Barnes, Jenny Bimrose, David Owen, Rob Wilson and Daria Luchinskaya. – London : Department for Education, 2020. – 47 p. – Режим доступу: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/863703/LMI\\_for\\_All\\_2018\\_2019.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/863703/LMI_for_All_2018_2019.pdf). – 10.10.2021.

20. Міністерство економіки України. Про затвердження професійного стандарту «Інженер з підготовки виробництва авіаційної та ракетно-космічної техніки»: Наказ № 2257 від 05.11.2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=22469103-4e36-4d41-b1bf-288338b3c7fa&title=RestrProfesiinikhStandartiv>. – 10.10.2021.

## References

1. Fedorovych, O. Ye., Uruskiy, O. S., Kosenko, V. V., Pronchakov, Yu. L. System modeling of goals and directions in projects of innovative development of high-tech enterprise. Collective monograph edited by I. Lindle, I. Chumachenko, V. Timofeyev. In: *Information systems and innovative technologies in project and program management*. Riga, 2020, pp. 39-53. DOI: 10.30837/MMP.2020.039.
2. Kabinet Ministriv Ukrainy. Pro zatverdzhennya Poryadku formuvannya derzhavnogo zamovlennya na pidhotovku fakhivtsiv, naukovykh, naukovopedagogichnykh ta robitnychykh kadriv, pidvyshchennya kvalifikatsiyi ta perepidhotovku kadriv: Postanova # 306 vid 15.04.2013. [Cabinet of Ministers of Ukraine. About the statement of the Order of formation of the state order for preparation of experts, scientific, scientific and pedagogical and working shots, advanced training and retraining of shots: Resolution № 306 from 15.04.2013]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/306-2013-%D0%BF#Text> (accessed 10.10.2021).
3. Melnyk, S. V. *Metodolohichni pidkhody do otsinky kadrovyykh potreb u fakhivtsyakh z vyshchoyu osvitoyu za spetsial'nostyamy* [Methodological approaches to the assessment of personnel needs in specialists with higher education in specialties]. Available at: [https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2020/06/2-na\\_sajt\\_AZ\\_Melnik\\_SV\\_Metodolog\\_pidh\\_otsinky\\_kadr\\_potr\\_fah\\_VO-final.pdf](https://iea.gov.ua/wp-content/uploads/2020/06/2-na_sajt_AZ_Melnik_SV_Metodolog_pidh_otsinky_kadr_potr_fah_VO-final.pdf) (accessed 10.10.2021).
4. Fedorovych, O., Kunanets, N., Leshchenko, Yu., Veretennikova, N. Dual education as a bridge between theoretical and practical knowledge. *The 1-st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), CEUR Workshop Proceedings*, 18-20 February 2020. Slavno, Lviv region, Ukrain, 2020, vol. 2565, pp. 295-306.
5. Fedorovych, O. E., Leshchenko, Yu. O., Zapadnya, K. O. Dual'na osvita yak prohresyvena forma yakisnoyi pidhotovky fakhivtsiv dlya innovatsiynoho vyrobnytstva aerokosmichnoyi tekhniki [Dual education as a progressive form of high-quality training of specialists for innovative production of aerospace technology]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2020, no 1(161), pp. 42-49. DOI: 10.32620/akt.2020.1.07.
6. Sudiyatno, S., Nuryanto, A., Sutopo, S., Nashir, I. M. Model of university-industry collaboration to support internship program in Engineering Faculty of Universitas Negeri Yogyakarta. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1700, article no. 012028. DOI: 10.1088/1742-6596/1700/1/012028.
7. Fedorovych, O., Uruskiy, O., Pronchakov, Yu., Lukhanin, M. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise. *Radioelektronni i komp'uterni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2021, no. 1(97), pp. 150-157. DOI: 10.32620/reks.2021.1.13.
8. Melnyk, S. V. Stan ta perspektyvy rozvytku vitchyznyanoi systemy pidhotovky kadriv [Status and prospects of development of the domestic training system]. *Osvitnya analityka Ukrainy – Educational analytics of Ukraine*, 2021, no. 1(12), pp. 65-80. DOI: 10.32987/2617-8532-2021-1-65-80.
9. Ministerstvo ekonomiky Ukrainy. Pro zatverdzhennya profesijnogo standartu «Inzhener-konstruktor (mekhanika) z aviatsiynoi ta raketno-kosmichnoyi tekhniki»: Nakaz № 2255 vid 05.11.2020. [Ministry of Economy of Ukraine. On approval of the professional standard "Design engineer (mechanics) for aerospace and rocketry": Order № 2255 of 05.11.2020]. Available at: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=22469103-4e36-4d41-b1bf-288338b3c7fa&title=RestrProfesiinikhStandartiv> (accessed 10.10.2021).
10. *Work-based learning in Ukraine. European training foundation (ETF)*. Available at: [https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2020-10/wbl\\_factsheet\\_ukraine\\_2020.pdf](https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2020-10/wbl_factsheet_ukraine_2020.pdf). (accessed 10.10.2021).
11. *European Commission. European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO)*. Available at: <https://ec.europa.eu/esco/portal/home> (accessed 10.10.2021).
12. *European Commission, Directorate-General for Employment Social Affairs and Inclusion Directorate E. Trends, challenges and opportunities : final report*. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4dfac3fa-7a0b-11ea-b75f-01aa75ed71a1/> (accessed 10.10.2021).
13. Dario, R. Competency Measurement Model. *European Conference on Quality in Official Statistics (Q2016) Madrid, 31 May – 3 June 2016*. Available at: <https://www.ine.es/q2016/docs/q2016Final00276.pdf>. (accessed 10.10.2021).
14. Miroshnychenko, Oleksii., Prytomanov, Sergii., Schokin, Rostislav., Romanenko, Ievgen., Datsii, Oleksandr. Elaborating professional qualifications in Ukraine: a new approach. *Professional Pedagogics*, 2020, vol. 1, no. 20, pp. 4-14. DOI: 10.32835/2707-3092.2020.20.4-14.
15. Siddique, S., Ahsan, A., Azizi, N., Haass, O. Students' Workplace Readiness: Assessment and Skill-Building for Graduate Employability. *Sustainability*, 2022, vol. 14, iss. 2, article no. 1749. DOI: 10.3390/su14031749.
16. Khosravi, Saber., Barazandeh, Mahtab., Alaeddini, Mahdi. Identifying and Developing a Dynamic Competency Model for the University

Freshmen. *DAV International Journal of Science*, 2015, vol. 4, iss. 2, pp. 186-198. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/290440359\\_Identifying\\_and\\_Developing\\_a\\_Dynamic\\_Competency\\_Model\\_for\\_the\\_University\\_Freshmen](https://www.researchgate.net/publication/290440359_Identifying_and_Developing_a_Dynamic_Competency_Model_for_the_University_Freshmen). (accessed 10.10.2021).

17. *Natsional'na ramka kvalifikatsiy – Ukrayina*. [National Qualifications Framework – Ukraine]. *Euro-pean training foundation (ETF)*. Available at: [https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2022-01/ukraine\\_ua.pdf](https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/2022-01/ukraine_ua.pdf). (accessed 10.10.2021).

18. Cárdenas-Rubio, Jeisson. *Classifying vacancy data at 6-digit level SOC 2020: A feasibility study*. Coventry, Warwick Institute for Employment Research University of Warwick Publ., 2021. 109 p. Available at: [https://warwick.ac.uk/fac/soc/ier/research/classifyingvacancydata/classifying\\_vacancy\\_data\\_at\\_6-digit\\_level\\_soc\\_2020\\_a\\_feasibility\\_study\\_report\\_09092021\\_forma\\_t.pdf](https://warwick.ac.uk/fac/soc/ier/research/classifyingvacancydata/classifying_vacancy_data_at_6-digit_level_soc_2020_a_feasibility_study_report_09092021_forma_t.pdf). (accessed 10.10.2021).

19. Barnes, Sally-Anne., Bimrose, Jenny., Owen, David., Wilson, Rob., Luchinskaya, Daria. *Developing and enhancing a labour market information database: LMI for All*. London, Department for Education, 2020. 47 p. Available at: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/863703/LMI\\_for\\_All\\_2018\\_2019.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/863703/LMI_for_All_2018_2019.pdf). (accessed 10.10.2021).

20. *Ministerstvo ekonomiky Ukrainy. Pro zatverdzhennya profesiynoho standartu «Inzhener z pidhotovky vyrobnytstva aviatsiynoyi ta raketno-kosmichnoyi tekhniki»»: Nakaz № 2257 vid 05.11.2020* [Ministry of Economy of Ukraine. About the statement of the professional standard "The engineer on preparation of production of aviation and rocket and space equipment": the Order No. 2257 from 05.11.2020]. Available at: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=22469103-4e36-4d41-b1bf-288338b3c7fa&title=RestrProfesiinikhStandartiv> (accessed 10.10.2021).

*Надійшла до редакції 14.10.2021, розглянута на редколегії 16.02.2022*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТОВ ПО СОЗДАНИЮ ИННОВАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

*Н. В. Нечипорук, О. Е. Федорович, В. В. Попов, М. С. Романов*

Ставится и решается задача формирования кадрового обеспечения для выполнения проектов по созданию инновационных изделий аэрокосмической техники (АКТ). Актуальность исследования связана с моделированием профилей специалистов для формирования компетентностей, необходимых для выполнения проекта по созданию нового изделия АКТ.

Целью исследования является формирование множества компетентностей необходимых для выполнения проекта по созданию изделия АКТ путем проведения подготовки (переподготовки) специалистов с учетом требований отраслевого профессионального стандарта (ОПС) и требований к компетентностям, необходимых для нового проекта.

Большое внимание уделено архитектуре сложного изделия АКТ, которое представлено в виде множества компонентов. Базовое представление изделия (БИ) сформировано в виде типовых компонентов, создание которых связано с необходимыми специальностями и компетентностями, отвечающими требованиям ОПС. Специальности содержат множество компетентностей, которые, в свою очередь, разбиваются на знания, умения и навыки. Проект создания нового изделия АКТ включает архитектуру изделия, которая может отличаться от архитектуры БИ, требующей проведения мероприятий по разработке новых компонент. Для представления компонентной архитектуры, специальностей и компетентностей разработчиков использована база прецедентов (БПБИ). Сравнение архитектур нового изделия и БИ осуществляется с помощью как качественных, так и количественных оценок. Для качественных оценок используются лингвистические переменные и лексикографическое упорядочивание вариантов. Количественные оценки используются для сравнения и оценки близости технических характеристик компонентов нового изделия и БИ. Оценка близости специальности и компетентностей, необходимых в новом проекте и существующих в БПБИ, осуществляется с помощью качественных оценок, представленных в виде букв латинского алфавита. Построена оптимизационная модель для минимизации расхождения компетентностей на основе балльных оценок. Оптимизация осуществляется с использованием целочисленного (булевого) линейного программирования. В качестве ограничений используются допустимые значения затрат, времени и рисков, связанных с подготовкой (переподготовкой) специалистов для выполнения проекта по созданию нового изделия АКТ. Приведен пример формирования компетентностей для выполнения проекта по созданию лопастей вертолетов из композиционных материалов.

Научная новизна проведенного исследования связана с разработкой метода формирования кадрового обеспечения для выполнения инновационных проектов по созданию новых изделий АКТ путем моделирования профилей специалистов с использованием компонентного и компетентностного подходов.

Результаты проведенного исследования целесообразно использовать для формирования кадрового обеспечения для выполнения проекта по созданию инновационного изделия АКТ со сложной компонентной архитектурой.

**Ключевые слова:** профиль специалиста; компетентностный подход; сложное изделие; база прецедентов; компонентная архитектура; лексикографическое упорядочение; оптимизация.

## MODELING OF SPECIALISTS' PROFILES FOR PLANNING AND IMPLEMENTATION OF PROJECTS FOR THE CREATION OF INNOVATIVE PRODUCTS OF AEROSPACE TECHNIQUES

*Mykola Nechyporuk, Oleg Fedorovich, Viktor Popov, Maxim Romanov*

The problem of staffing for the implementation of projects to create innovative products of aerospace technology (ACT) is developed and solved. The relevance of the study is related to the modeling of specialist profiles to acquire the competencies necessary to complete the project on the new AST product creation.

The study creates the set of competencies necessary for the implementation of the project to create AST products by training (retraining) specialists, considering the requirements of the industry professional standards (IPS) and the requirements competencies necessary for the new project.

Much attention is paid to the architecture of the complex AST product, which is presented as a set of components. The basic product (BP) representation is done in the form of typical components which creation is associated with the necessary specialties and competencies that meet the requirements of the IPS. Specialties contain many competencies, which, in their turn, are divided into knowledge, skills, and abilities. The project to create the new AST product includes the product architecture, which may differ from the BP architecture and therefore requires the activities to develop the new components. To represent the component architecture, specialties, and competencies of the developers, the precedent base (PBBP) is used. The comparison of new product architectures and BP is carried out using both qualitative and quantitative assessments. For qualitative assessments, linguistic variables and the lexicographic ordering of variants are used. Quantitative evaluations are used to compare and evaluate the proximity of the technical characteristics of the components of the new product and BP. The assessment of the closeness of the specialties and competencies required in the new project and existing in the PBBP is carried out using qualitative assessments presented in the form of letters of the Latin alphabet. An optimization model was developed to minimize the difference in competencies based on scores. The optimization is carried out using integer (Boolean) linear programming. Admissible values of costs, time, and risks associated with the training (retraining) of specialists for the implementation of the project to create the new AST product are used as restrictions. An example of how to create the competencies for the implementation of the project to create helicopter blades from composite materials is given.

The scientific novelty of the study is related to the development of a method to staff the implementation of innovative projects to create the new AST products using component and competence-based approaches.

It is recommended to use the results of this study to staff the implementation of the project created the innovative AST product with a complex component architecture.

**Keywords:** specialist profile; competency-based approach; complex product; precedent base; component architecture; lexicographic ordering; optimization.

**Нечипорук Микола Васильович** – д-р техн. наук, проф., ректор, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Федорович Олег Євгенович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Попов Віктор Васильович** – д-р техн. наук, Голова правління АТ «FED», Харків, Україна.

**Романов Максим Сергійович** – канд. техн. наук, доцент, начальник навчально методичного відділу, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Mykola Nechyporuk** – Dr. Tech. Sc., professor, Rector, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: nechyporuk52@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0566-6552.

**Oleg Fedorovich** – Doctor of technical sciences, professor, head of department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.fedorovych@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7883-1144.

**Viktor Popov** – Doctor of Technical Sciences, Chairman of the Board, JSC "FED", Kharkiv, Ukraine, e-mail: fed@fed.com.ua, ORCID: 0000-0001-9189-6882.

**Maxim Romanov** – Ph.D. tech. Sciences, Head of the Educational and Methodological Department, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: m.romanov@khai.edu, ORCID: 0000-0002-0598-2598.