

УДК 377.3-057.21:658.589:629.7

doi: 10.32620/akt.2020.1.07

О. Є. ФЕДОРОВИЧ, Ю. О. ЛЕЩЕНКО, К. О. ЗАПАДНЯ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна

ДУАЛЬНА ОСВІТА ЯК ПРОГРЕСИВНА ФОРМА ЯКІСНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Ставиться та вирішується задача використання нової форми навчання у вигляді дуальної освіти для забезпечення високотехнологічного виробництва, що розвивається, новими кваліфікованими кадрами з випускників технічних університетів. Представлене вирішення основної задачі розглядається комплексно у два етапи. На першому етапі аналізуються можливі напрями розвитку та модернізації високотехнологічного виробництва інноваційної продукції. Для вибору напрямку розвитку підприємства розроблено базу даних існуючих і перспективних замовлень, які впливають на конкурентоспроможність аерокосмічної продукції. Для цього використовується метод, заснований на прецедентному підході. Новий портфель замовлень потребує підготовки висококваліфікованих фахівців. Тому аналізуються вимоги до компетентностей фахівців, які повинні відповідати портфелю замовлень виробництва, що модернізується. Набір компетентностей випускників університету не завжди співпадає з вимогами роботодавців. Тому на другому етапі дослідження здійснюється вибір тих методів дуальної освіти (дистанційне навчання, віртуальна освіта, майстер-класи і т.д.), які дозволяють привести знання випускників університету до вимог к компетентностям роботодавців. Для цього використовується дуальна освіта, з урахуванням можливої індивідуальної траєкторії навчання для кожного студента. Заходи представлено у комбінованому поданні і включають різні інструменти навчання. За результатами індивідуального навчання, кожен з випускників університету повинен отримати набір компетентностей, що відповідають вимогам роботодавця. Формується база даних прецедентів, яка містить показники конкурентоспроможності продукції з новими вимогами до компетентностей випускників університету. Здійснюється оптимізація витрат, пов'язаних з дуальним навчанням. В якості математичних моделей дослідження використовується лексикографічне впорядкування варіантів та цілочисельна оптимізація. Запропонований підхід доцільно використовувати в задачах підготовки висококваліфікованих фахівців для виконання інноваційних проектів зі створення конкурентоспроможної продукції.

Ключові слова: дуальна освіта; дуальне навчання; інноваційний портфель замовлень; модернізація виробництва; лексикографічне подання; оптимізація витрат.

Вступ

Глобалізація і промислова революція 4.0 [1 – 3] привели до необхідності постійної модернізації виробництва, для забезпечення конкуренто-спроможності високотехнологічної продукції, що випускається [4]. В першу чергу, це пов'язано з інноваційними галузями до яких відноситься аерокосмічне виробництво [5, 6]. Сучасні аерокосмічні технології вимагають якісної підготовки висококваліфікованих фахівців, які можуть швидко адаптуватися до змін у портфелі замовлень роботодавців [7]. У зв'язку з цим, дуальна форма освіти (ДО) з сучасним інструментарієм навчання (дистанційне навчання, віртуальні технології, майстер-класи тощо) дозволяє скоротити час на адаптацію та підготовку студентів до вимог замовлень роботодавців [8 – 10]. В існуючих публікаціях з ДО розглядається, в основному, в практичному аспекті при організації проведення

дуального навчання (ДН) [11 – 14]. Відсутнє комплексне подання проблеми ДН, пов'язане з інноваційними завданнями підприємств [15], що реформуються, для яких потрібно фахівці, які орієнтовані на ці замовлення і можуть їх успішно реалізувати.

Тому актуальна тема запропонованої публікації, в якій комплексно розглядаються процеси модернізації підприємства, а також підготовка висококваліфікованих фахівців в аерокосмічній галузі на основі дуальних форм навчання.

Постановка завдання дослідження

Забезпечення конкурентоспроможності продукції призводить до необхідності підготовки кваліфікованих фахівців з інноваційним набором компетентностей [16]. Використання ДО дозволяє забезпечити активну взаємодію вищої школи з підприємствами, які виконують інноваційні проекти [14].

Для забезпечення конкурентоспроможності продукції, в процес модернізації та розвитку підприємства, необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати вибір напрямку розвитку підприємства;
- удосконалити підготовку фахівців на основі інструментів ДО.

Вирішення завдання дослідження

Для вибору напрямку розвитку підприємства необхідно сформулювати базу даних (БД) існуючих і перспективних замовлень, які впливають на конкурентоспроможність аерокосмічної продукції [17]. Будемо використовувати метод, заснований на прецедентному підході [18].

Інноваційні замовлення впливають на множину можливих рішень з модернізації виробництва, які необхідно оцінити для вибору напрямку розвитку підприємства [19, 20]. При модернізації виробництва, для мінімізації витрат, термінів і ризиків доцільно здійснити пошук близьких до типових рішень, які формується в БД прецедентів. Таких рішень може бути не одне, а кілька, тому в цьому випадку виникає задача вибору оптимального варіанта з множини альтернатив. Передбачувана модернізація виробництва повинна бути попередньо проаналізована експертами і оцінена за допомогою вектора показників конкурентоспроможності продукції Q_s (якість, витрати, терміни і т.д.). При цьому запланована модернізація підприємства може не збігатися з типовими існуючими рішеннями в БД прецедентів. Якщо типове рішення не приймається, то модернізація здійснюється на базі нових рішень. В цьому випадку, запропоновані рішення утворюють новий прецедент в БД зі своїм набором значень (показників конкурентоспроможності). При прийнятті рішень, здійснюється попереднє оцінювання витрат, часу (строків) і ризиків, пов'язаних з модернізацією існуючого виробництва. У разі декількох можливих типових рішень, здійснюється порівняння запропонованого рішення з підмножиною близьких (типових) рішень за показниками витрат, часу і ризиків, для вибору оптимального рішення.

Для формування БД прецедентів будемо використовувати лексикографічне подання вектора значень показника конкурентоспроможності продукції для подальшого впорядкування прецедентів в БД. Через невизначеність початкового етапу модернізації, будемо використовувати якісну шкалу для оцінки експертів, в якій значення лінгвістичної змінної виражені у вигляді, букв латинського алфавіту, наприклад:

- A – чудове значення;
- B – відмінне значення;
- C – гарне значення;
- D – задовільне значення;
- E – незадовільне (слабке) значення.

Для кожного показника конкурентоспроможності діапазон якісних значень може бути своїм і задаватися експертом. Далі формується «слово», яке характеризує конкурентоспроможність розглянутого прецеденту у вигляді запропонованого виробничого рішення. Наприклад, до j -го прецеденту «слово» має наступний вигляд:

$$Y_j = A_{j1}, B_{j2}, C_{j3}, D_{j4},$$

де A_{ji} – значення лінгвістичної змінної для першого показника конкурентоспроможності розглянутого j -го прецеденту (рішення з модернізації);

Впорядкуємо внутрішній зміст «слова»: на першому місці буде знаходитися найбільш значний показник конкурентоспроможності, а на останньому – найменш значний.

Далі здійснюється лексикографічне впорядкування прецедентів в БД з використанням «слів», що характеризують конкурентоспроможність окремих прецедентів. В результаті, отримаємо впорядковану множину прецедентів в БД у вигляді типових рішень з модернізації.

Нехай кожна нова проблемна ситуація, яка пов'язана з модернізацією (нове рішення), буде характеризуватися новим «словом», значення якого формується експертами. Це «слово», як контрольне, необхідно лексикографічно порівняти з раніше упорядкованою множиною «слів», що знаходяться в БД прецедентів. Наприклад, маємо наступний набір упорядкованих «слів» в БД прецедентів:

$$A_1, A_2, A_3, B_4$$

$$A_1, A_2, A_3, C_4$$

$$A_1, A_2, B_3, A_4$$

$$A_1, A_2, C_3, B_4$$

$$A_1, B_2, A_3, A_4$$

$$A_1, C_2, A_3, B_4$$

Нехай нова проблемна ситуація, яка пов'язана з модернізацією виробництва, характеризується наступним контрольним «словом»:

$$Y^* = A_1, A_2, C_3, A_4.$$

Визначимо місце цього «слова» у впорядкованій БД прецедентів:

A_1, A_2, A_3, B_4

A_1, A_2, A_3, C_4

A_1, A_2, B_3, A_4

A_1, A_2, C_3, A_4

A_1, A_2, C_3, B_4

A_1, B_2, A_3, A_4

A_1, C_2, A_3, B_4

«Слова», які знаходяться вище заданого контрольного «слова» утворюють множину Z^* , яку має сенс розглядати для вибору типових рішень з модернізації виробництва, бо значення показників конкурентоспроможності у них не гірше ніж у контрольного.

Можливі наступні ситуації:

- підмножина, для вибору найкращого прецеденту Z^* , складається з одного варіанта;

- Z^* містить кілька варіантів.

Для першої ситуації експерти оцінюють можливість модернізації враховуючи при цьому:

- фінансові витрати – W ;

- тривалість (терміни) проведення модернізації – T ;

- ризики успішного виконання проекту модернізації – R .

До другого випадку порівнюються W_p, T_p, R_p нової проблемної ситуації з кожним i -м W_i, T_i, R_i у

виділеній підмножині Z^* . При цьому враховується значимість або «вага» показників витрат, термінів і ризиків. В результаті отримуємо цікавий для нас прецедент в якості раціонального рішення з модернізації виробництва, який необхідно адаптувати до умов і стану, в якому, в даний час, знаходиться підприємство.

Для обраних рішень з модернізації виробничого процесу підприємства необхідно підготувати висококваліфікований склад фахівців. Будемо для цього використовувати підготовку фахівців шляхом проведення ДН на старших (випускних) курсах університету. Необхідно роботодавцю сформулювати набір компетентностей, який буде відповідати вимогам модернізації виробництва і тим інноваційним портфелям замовлень, які планується виконувати на реформованому підприємстві. Тому, необхідно поглибити і розширити компетентності K_1 , які були отримані студентами в університеті, щоб вони відповідали новій множині компетентностей роботодавця – K_2 .

Для цього будемо використовувати інструменти ДО, з урахуванням можливої індивідуальної траєкторії навчання для кожного студента. Заходи мо-

жуть носити комбінований характер і включати різні інструменти ДН. За результатами проведення індивідуального навчання, кожен j -й студент повинен отримати набір компетентностей, що відповідають вимогам роботодавця:

$$K_{2j} = \{K_{21j}, K_{22j}, \dots, K_{2mj}\},$$

де K_{2ij} – відповідає рівню знань для i -тої компетентності роботодавця, отриманої в результаті ДН j -го студента.

Значення рівня знань для кожної компетентності можна оцінити за допомогою проведеного тестування, а також оцінок експертів. Нехай експерти скористалися якісним поданням значень оцінок компетентностей у вигляді букв латинського алфавіту, тоді:

$$K_{2i} = \begin{cases} A - \text{найвищий рівень знань} \\ \quad \text{до } i\text{-ої компетентності,} \\ B - \text{високий рівень знань} \\ \quad \text{до } i\text{-ої компетентності,} \\ C - \text{хороший рівень знань} \\ \quad \text{до } i\text{-ої компетентності,} \\ D - \text{задовільний рівень знань} \\ \quad \text{до } i\text{-ої компетентності,} \\ E - \text{слабкий або незадовільний рівень} \\ \quad \text{студента до } i\text{-ої компетентності.} \end{cases}$$

Отриману оцінку компетентностей j -го студента за результатами ДН можна представити у вигляді «слова», де на першому місці знаходиться найважливіша компетентність роботодавця, а на останньому – найменш важлива. Наприклад, для з трьох представлених компетентностей, компетентності j -го студента за результатами ДН має вигляд:

$$B_j, A_j, C_j.$$

Нехай для множини студентів (групи), які брали участь в ДН, отримані компетентності утворюють невпорядкований набір «слів». Наприклад:

B_1, A_1, C_1

A_2, B_2, B_2

B_3, C_3, A_3

A_4, C_4, B_4

A_5, D_5, B_5

B_6, A_6, A_6

A_7, C_7, C_7

B_8, B_8, C_8

Для виділення кращих студентів, в розумінні вимог компетентностей роботодавця, впорядкуємо цей набір «слів» використовуючи лексикографічне упорядкування. В результаті отримаємо:

A₂ B₂ B₂
 A₄ C₄ B₄
 A₇ C₇ C₇
 A₅ D₅ B₅
 B₆ A₆ A₆
 B₁ A₁ C₁
 B₈ B₈ C₈
 B₃ C₃ A₃.

Найвищі значення компетентностей знаходяться у верхній частині списку. Найменший рівень знань у третього студента.

Якщо роботодавцю потрібен не один, а кілька виконавців для виконання інноваційного замовлення, він може задати порогові значення для окремих компетентностей і виділити з групи студентів тих, які долають призначені «пороги». Для прикладу, нехай контрольне «слово» для перевірки компетентностей студентів має вигляд: B, B, B. Включимо «слово» B, B, B у впорядкований набір «слів» групи студентів. отримаємо:

A₂ B₂ B₂
 A₄ C₄ B₄
 A₇ C₇ C₇
 A₅ D₅ B₅
 B₆ A₆ A₆
 B₁ A₁ C₁
B B B
 B₈ B₈ C₈
 B₃ C₃ A₃.

В результаті впорядкування контрольного «слова» B, B, B в групі студентів, можна виділити множину виконавців з випускників університету для виконання запланованого портфеля інноваційних замовлень роботодавця:

A₂ B₂ B₂
 A₄ C₄ B₄
 A₇ C₇ C₇
 A₅ D₅ B₅
 B₆ A₆ A₆
 B₁ A₁ C₁.

Для прикладу, ними виявилися наступні студенти: 2, 4, 7, 5, 6, 1.

Важливою, з точки зору роботодавця, є оптимізація витрат, пов'язаних з проведенням ДН. При

цьому, для підвищення ефективності освіти, може використовуватись індивідуальні траєкторії навчання студентів та різноманітні інструменти ДО. Завдання оптимізації зводиться до комбінаторної задачі вибору оптимального інструментарію ДН для кожного студента з врахуванням витрат.

Введемо цілочислову змінну, яка вказує на вибір конкретного інструменту ДО для кожного студента. Тобто $X_{ijk}=1$, якщо для формування і-ої компетентності для j-го студента необхідно використовувати k-й інструмент ДО, і $X_{ijk}=0$ в іншому випадку. Для оцінки витрат на проведення ДН введемо такі показники:

1. Вартісні витрати на проведення ДН – W.
2. Час, витрачений на проведення ДН – T.
3. Ризики, пов'язані з результатами ДН – R.

Тоді, з врахуванням введеної цілочисельної змінної X_{ijk} показники W, T, R можна представити в наступному вигляді:

$$W = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} w_{ijk} \times X_{ijk},$$

$$T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} t_{ijk} \times X_{ijk},$$

$$R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} r_{ijk} \times X_{ijk}.$$

де w_{ijk} – витрати, пов'язані з отриманням і-тої компетентності j-м студентом під час вибору k-го інструмента ДО;

t_{ijk} – час, витрачений на проведення ДН для отримання і-тої компетентності j-м студентом під час вибору k-го інструмента ДО;

r_{ijk} – ризики, пов'язані з отриманням і-тої компетентності j-м студентом під час вибору k-го інструмента ДО;

n_i – кількість можливих інструментів ДО, які можуть бути використані для навчання j-го студента (враховуються індивідуальні особливості);

g_j – кількість недостатніх компетентностей у j-го студента, які він повинен отримати за допомогою ДО;

m – кількість студентів у групі ДН.

Можливі такі постановки задачі оптимізації витрат, пов'язаних з реалізацією ДН:

- оптимізація окремих (локальних) показників витрат;
- багатокритеріальна оптимізація витрат або пошук компромісного рішення.

Розглянемо докладніше завдання оптимізації локальних показників проведення ДН.

Необхідно мінімізувати показник витрат W :

$$\min W, W = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} w_{ijk} \cdot x_{ijk},$$

при виконанні наступних обмежень:

$$T \leq T', R \leq R',$$

де T' – допустимий час на проведення ДН (визначається з урахуванням вимог роботодавця); R' – допустимі ризики, пов'язані з проведенням ДН.

Необхідно мінімізувати час проведення ДН:

$$\min T, T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} t_{ijk} \cdot x_{ijk},$$

при виконанні наступних обмежень:

$$W \leq W', R \leq R',$$

де W' – допустимі витрати на проведення ДН (задаються роботодавцем).

Необхідно мінімізувати ризики, пов'язані з проведенням ДН:

$$\min R, R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} r_{ijk} \cdot x_{ijk}.$$

при виконанні наступних обмежень:

$$W \leq W', T \leq T'.$$

Для вирішення багатокритеріальної задачі введемо комплексний критерій, який представляється як проста адитивна «згортка» локальних показників:

$$Q = \alpha_w \cdot W + \alpha_T \cdot T + \alpha_R \cdot R,$$

де $\alpha_w, \alpha_T, \alpha_R$ – «вагові» коефіцієнти, які задаються роботодавцем і показують важливість окремих показників. При цьому:

$$\alpha_w + \alpha_T + \alpha_R = 1.$$

W – нормований показник витрат (від 0 до 1),

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

T – нормований показник часу, витраченого на проведення ДН (від 0 до 1),

$$T = \frac{T - T^*}{T' - T^*},$$

R – нормований показник можливих ризиків при проведенні ДН (від 0 до 1),

$$R = \frac{R - R^*}{R' - R^*}.$$

Значення W^*, T^*, R^* , були отримані при проведенні оптимізації за окремими показниками. Для оптимізації комплексного показника Q необхідно:

$$\begin{aligned} \min Q, Q &= \alpha_w \frac{W - W^*}{W' - W^*} + \alpha_T \frac{T - T^*}{T' - T^*} + \alpha_R \frac{R - R^*}{R' - R^*} = \\ &= \frac{\alpha_w}{W' - W^*} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} w_{ijk} \cdot x_{ijk} + \frac{\alpha_T}{T' - T^*} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} t_{ijk} \cdot x_{ijk} + \\ &+ \frac{\alpha_R}{R' - R^*} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{g_j} \sum_{k=1}^{n_i} r_{ijk} \cdot x_{ijk} - \frac{W^*}{W' - W^*} - \frac{T^*}{T' - T^*} - \frac{R^*}{R' - R^*}, \end{aligned}$$

при виконанні обмежень: $W \leq W', T \leq T', R \leq R'$.

Висновки

Запропонований підхід доцільно використовувати в плануванні проведення заходів, ДО для підготовки фахівців з числа студентів університету, для виконання інноваційного портфеля замовлень роботодавця, пов'язаних з модернізацією високотехнічного виробництва.

Література

1. Tiacci, L. Object-oriented event-graph modeling formalism to simulate manufacturing systems in the Industry 4.0 era [Text] / L. Tiacci // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2020. – Vol. 99, №. 102027.
2. Промислова революція 4.0. На порозі нової епохи [Електронний ресурс] / Корреспондент.net. – 2017. – Mode of access: <https://ua.korrespondent.net/business/web/3802445-promyslova-revoluitsiia-40-na-porozii-novoi-epokhy>. – 12.12.2019.
3. Lass, S. A factory operating system for extending existing factories to Industry 4.0 [Text] / S. Lass, N. Gronau // *Computers in Industry*. – 2020. – Vol. 115, №. 103128.
4. Прончаков, Ю. Л. Обеспечение требований качества производства высокотехнологической продукции в проектах модернизации развивающегося предприятия [Текст] / Ю. Л. Прончаков,

Ю. А. Леценко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2015. – № 5 (122). – С. 92 – 98.

5. Федорович, О. Е. Стратегия последовательного улучшения качества в логистической цепи аэрокосмического производства [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. А. Леценко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 5 (112). – С. 109 – 112.

6. Kim, D. Y. Relationship between quality management practices and innovation. [Text] / D. Y. Kim, V. Kumar, U. Kumar // *Journal of Operations Management*. – 2012. – Vol. 30, No. 4. – P. 295 – 315.

7. Федорович, О. Е. Повышение конкурентоспособности развивающегося предприятия на основе логистических требований [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков // *Системы обработки информации*. – 2015. – № 11. – С. 189-191.

8. Pleshakova, A. Yu. Germany's dual education system: the assessment by its subjects [Text] / A. Yu. Pleshakova // *The Education and Science Journal*. – 2019. – Vol. 21, No. 5. – P. 130-156.

9. Muhabetaliev, S. Kh. The Introduction of Elements of Dual Education System: Experience, Problems, Prospects [Text] / S. Kh. Muhabetaliev, A. Kh. Kasymova // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2016. – Vol. 9, No. 47. – P. 1-12.

10. Implementing the dual education system: the success, the challenges and the future [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.alpla.com/en/blog/2018/03/implementing-dual-education-system-success-challenges-and-future>. – 12.12.2019.

11. Dual education: a win-win situation for companies and graduates [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.alumniportal-deutschland.org/en/study-continuing-education/study-training/duale-ausbildung/>. – 12.12.2019.

12. Apprenticeship toolbox [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.apprenticeship-toolbox.eu/>. – 12.12.2019.

13. The German Vocational Training System [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bmbf.de/en/the-german-vocational-training-system-2129.html>. – 12.12.2019.

14. The German VET System [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bibb.de/en/39.php>. – 12.12.2019.

15. Дуальна освіта [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnicna-osvita/dualna-osvita>. – 12.12.2019.

16. Leshchenko, Y. System Model for Decision Making Support in Logistics and Quality Management Business Processes of Manufacture Enterprise [Text] / Y. Leshchenko, A. Yelizieva // *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. – Springer, Cham, 2020. – Vol. 42. – P. 93 – 113.

17. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: ме-

тодологія, теорія, досвід, проблеми. – 2018. – Вип. 52. – Київ – Вінниця : ТОВ фірма «Планер». – 465 с.

18. Леценко, Ю. А. Применение теории прецедентов для решения задач управления качеством в приборостроительном производстве [Текст] / Ю. А. Леценко, О. В. Малеева, А. Б. Леценко // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2008. – № 1 (28). – С. 61 – 67.

19. Fundin, A. The quality dilemma: Combining development and stability [Text] / A. Fundin, B. Bergman, M. Elg // *International Series in Operations Research and Management Science*. – 2017. – Vol. 255. – P. 9 – 33.

20. Модели и методы обеспечения качества в жизненном цикле и логистике высокотехнологического производства продукции развивающихся предприятий [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. А. Леценко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2017. – 255 с.

References

1. Tiacci, L. Object-oriented event-graph modeling formalism to simulate manufacturing systems in the Industry 4.0 era. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2020, vol. 99, no. 102027.

2. Promyslova revoliutsiia 4.0. Na porozi novoi epokhy [Industrial Revolution 4.0. At the threshold of a new era]. Available at: <https://ua.korrespondent.net/business/web/3802445-promyslova-revoliutsiia-40-na-porozi-novoi-epokhy> (accessed 12.12.2019).

3. Lass, S., Gronau, N. A factory operating system for extending existing factories to Industry 4.0. *Computers in Industry*, 2020, vol. 115, no. 103128. DOI: 10.1016/j.compind.2019.103128/

4. Pronchakov, Yu. L., Leshchenko, Yu. A. Obespechenie trebovanij kachestva proizvodstva vysokotekhnologicheskoy produkcii v proektah modernizacii razvivajushhegosja predpriyatija [Ensuring quality requirements for the production of high-tech products in modernization projects of a developing enterprise]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2015, no. 5 (122), pp. 92 – 98.

5. Fedorovich, O. Ye., Leshchenko, Yu. A. Strategija posledovatel'nogo uluchshenija kachestva v logisticheskoy cepi ajerokosmicheskogo proizvodstva [Strategy of continuous improvement quality in the logistics chain of aerospace production]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2014, no. 5 (112), pp. 109-112.

6. Kim, D. Y., Kumar V, Kumar U. Relationship between quality management practices and innovation. *Journal of Operations Management*, 2012, vol. 30, no. 4, pp. 295-315. DOI: 10.1016/j.jom.2012.02.003.

7. Fedorovich, O. Ye., Pronchakov, Yu. L. Povyslenie konkurentosposobnosti razvivajushhegosja predpriyatija na osnove logisticheskikh trebovanij [Improving of growing enterprise competitiveness on

the basis of logistic requirements]. *Systems for processing information*, 2015, no. 11(136), pp. 189-191.

8. Pleshakova, A. Yu. Germany's dual education system: the assessment by its subjects, *The Education and Science Journal*, 2019, vol. 21, no. 5, pp. 130-156. DOI: 10.17853/1994-5639-2019-5-131-157.

9. Muhambetaliev, S. Kh., Kasymova, A. Kh. The Introduction of Elements of Dual Education System: Experience, Problems, Prospects. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol. 9, no. 47, pp. 1-12. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i47/99711.

10. *Implementing the dual education system: the success, the challenges and the future*. Available at: <https://www.alpla.com/en/blog/2018/03/implementing-dual-education-system-success-challenges-and-future> (accessed 12.12.2019).

11. *Dual education: a win-win situation for companies and graduates*. Available at: <https://www.alumniportal-deutschland.org/en/study-continuing-education/study-training/duale-ausbildung/> (accessed 12.12.2019).

12. *Apprenticeship toolbox*, Available at: <https://www.apprenticeship-toolbox.eu/> (accessed 12.12.2019).

13. *The German Vocational Training System*. Available at: <https://www.bmbf.de/en/the-german-vocational-training-system-2129.html> (accessed 12.12.2019).

14. The German VET System. *Federal Institute for Vocational Education and Training*, Available at: <https://www.bibb.de/en/39.php> (accessed 21.01.2020).

15. Dualna osvita [Dual Education]. Available at: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnichna-osvita/dualna-osvita> (accessed 12.12.2019).

16. Leshchenko, Y., Yelizieva, A. System Model for Decision Making Support in Logistics and Quality

Management Business Processes of Manufacture Enterprise. *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, Springer, Cham, 2020, vol. 42, pp. 93-113. DOI: 10.1007/978-3-030-35649-1_5.

17. *Suchasni informacijni tehnologiji ta innovacijni metodiki navchannya u pidgotovci fahivciv: metodologiya, teoriya, dosvid, problemi* [Modern information technologies and innovative teaching methods in training specialists], 2018, vol. 52, Kyiv-Vinnitsia, Planer LLC Publ. 465 p.

18. Leshchenko, Yu. A., Maleeva, O.V., Leshchenko, A. B. Primenenie teorii precedentov dlya resheniya zadach upravleniya kachestvom v priborostroitel'nom proizvodstve [Application of precedent theory to solving quality management problems in instrument manufacturing]. *Radioelektronika i komp'uterni sistemi - Radioelectronic and computer*, 2008, no. 1 (28), pp. 61-67.

19. Fundin, A., Bergman, B., Elg, M. The quality dilemma: Combining development and stability, *International Series in Operations Research and Management Science*, 2017, vol. 255, pp. 9-33. DOI: 10.1007/978-3-319-55985-8_2.

20. Fedorovich, O. Ye., Pronchakov, Yu. L., Leshchenko, Yu. A. Modeli i metody obespecheniya kachestva v zhiznennom cikle i logistike vysokotekhnologicheskogo proizvodstva produkcii razvivayushchihsiya predpriyatij [Models and methods of quality assurance in the life cycle and logistics of high-tech production of products of developing enterprises]. Kkarkov, Nat. aerospace Univ. "KhAI" Publ., 2017. 255 p.

Надійшла до редакції 9.12.2019, розглянута на редколегії 20.01.2020

ДУАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ПРОГРЕССИВНАЯ ФОРМА КАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

О. Е. Федорович, Ю. А. Лещенко, К. О. Западня

Ставится и решается задача использования новой формы обучения в виде дуального образования для обеспечения развивающегося высокотехнологического производства, новыми квалифицированными кадрами из выпускников технических университетов. Представленное решение основной задачи рассматривается комплексно в два этапа. На первом этапе анализируются возможные направления развития и модернизации высокотехнологического производства инновационной продукции. Для выбора направления развития предприятия разработана база данных существующих и перспективных заказов, которые влияют на конкурентоспособность аэрокосмической продукции. Для этого используется метод, основанный на прецедентном подходе. Новый портфель заказов требует подготовки высококвалифицированных специалистов. Поэтому анализируются требования к компетентностям специалистов, которые должны отвечать портфелю заказов модернизируемого производства. Набор компетентностей, выпускников университета не всегда совпадает с требованиями работодателей. Поэтому на втором этапе исследования осуществляется выбор тех методов дуального образования (дистанционное обучение, виртуальное образование, мастер-классы и т.д.), которые позволяют привести знания выпускников университета к компетентностям работодателей. Для этого используется дуальное образование, с учетом возможной индивидуальной траектории обучения для каждого студента. Мероприятия представлены в комбинированном представлении и включают различные инструменты обучения. По результатам индивидуального обучения, каждый выпускник университета должен получить набор компетентностей, соответствующих требованиям работодателя. Формируется база данных

прецедентов, которая содержит показатели конкурентоспособности продукции новыми требованиями к компетентностям выпускников университета. Проводится оптимизация расходов, связанных с дуальным обучением. В качестве математических моделей исследования используется лексикографическое представление вариантов и целочисленная оптимизация. Предложенный подход целесообразно использовать в задачах подготовки высококвалифицированных специалистов для выполнения инновационных проектов по созданию конкурентоспособной продукции.

Ключевые слова: дуальное образование; дуальное обучение; инновационный портфель заказов; модернизация производства; лексикографическое представление; оптимизация расходов.

DUAL EDUCATION AS A PROGRESSIVE FORM OF QUALITATIVE TRAINING OF EXPERT FOR INNOVATIVE AEROSPACE TECHNICAL PRODUCTION

O. Ye. Fedorovych, Yu. O. Leshchenko, K. O. Zapadnia

The problem of using a new form of dual education training to provide high-tech developing production with new qualified personnel from graduates of technical universities is being developed and solved. The solution to the main problem is presented in two stages. At the first stage, the possible directions of development and modernization of high-tech production of innovative products are analyzed. To choose the direction of development of the enterprise, a database of existing and promising orders, which affect the competitiveness of aerospace products has been developed. For this purpose, a method based on a precedent approach is used. The new order portfolio requires of highly qualified specialist training. Therefore, the competency requirements of specialists who must meet the portfolio of modernized production orders are analyzed. The set of competencies of university graduates does not always match the requirements of employers. Therefore, at the second stage of the study, the choice is made of those dual education methods (distance learning, virtual education, master classes, etc.) that allow bringing the knowledge of graduates to the competencies of employers. Dual education is used for this purpose, taking into account the possible individual learning path for each student. The activities are presented in a combined presentation and include various learning tools. As a result of individual training, each university graduate must receive a set of competencies that meet the requirements of the employer. A precedent database is being formed that contains indicators of competitiveness of products with new requirements for the competencies of university graduates. The costs related to dual training are being optimized. Lexicographic ordering of variants and integer optimization are used as mathematical models of research. It is advisable to use the proposed approach in the tasks of preparing of highly qualified specialists for the implementation of innovative projects to create competitive products.

Keywords: dual education; dual training; innovative order portfolio; production modernization; lexicographic representation; cost optimization.

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.

Лещенко Юлія Олександрівна – канд. техн. наук, доц. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Западнія Ксенія Олегівна – канд. техн. наук, доц., доц. каф. комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Fedorovych Oleh Yevhenovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine. e-mail: o.fedorovych@khai.edu; ORCID Author ID: 0000-0001-7883-1144.

Leshchenko Yuliia Oleksandrivna – Candidate of Technical Sciences PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”; Kharkiv, Ukraine. e-mail: j.leshchenko@khai.edu; ORCID Author ID: 0000-0001-9232-697X.

Zapadnia Kseniia Olehivna – Candidate of Technical Sciences PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”; Kharkiv, Ukraine. e-mail: k.zapadnia@khai.edu; ORCID Author ID: 0000-0002-9705-7470.