

АНОТАЦІЯ

Лечаченко Т. А. Моделі та методи підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 “Комп’ютерні науки”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.

Зміст анотації. Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання – розробленню моделей та методів підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв’язок роботи з науково-дослідною темою, визначено мету й завдання дослідження, об’єкт і предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувалися для досягнення мети дисертаційної роботи. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий творчий внесок здобувача. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження.

У першому розділі “Аналіз предметної області дослідження та постановка наукового завдання” проаналізовано суть інформаційного процесу враховуючи його фундаментальне значення в теорії комп’ютерних наук, проаналізовано суть інформаційної технології як системи, що зумовлена інформаційними процесами. Окреслено визначення інформаційного процесу й технології. Аналіз цих фундаментальних понять дозволив у подальшому формалізувати інформаційні процеси в дуальній освіті.

Розглянуто суть дуальної форми освіти з точки зору вітчизняних науковців, окреслено визначення даної форми навчання. Проаналізовано передумови впровадження дуальної освіти в Україні. Розглянуто досвід функціонування дуальної форми освіти в країнах із давньою традицією даного навчання, зокрема Швейцарії, Німеччині, Австрії, а також у країнах

з недавнім досвідом упровадження. Окреслено концепцію впровадження дуальної форми освіти в Україні, зокрема акцентовано важливість її повноцінного впровадження у вищій освіті.

Проаналізовано інформаційні процеси в дуальній освіті, інформаційні технології їх реалізації. Здійснено аналіз моделей та методів підтримки прийняття рішень.

На основі проведеного аналізу визначено наукове завдання, яке полягає в розробленні моделей та методів підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти. Розроблення інформаційних моделей підтримки прийняття рішень здійснено засобами мови моделювання UML та реалізовано на їх основі прототип веб-порталу дуального навчання.

У другому розділі “Розроблення методу оцінювання навчальних досягнень студента в інформаційних процесах дуальної освіти” формалізовано інформаційні процеси в дуальній системі освіти з окресленням їх як окремих інформаційних процесів у компанії та навчальному закладі. Встановлено, що перетин інформаційних процесів компанії та навчального закладу є необхідною умовою інтеграції навчального процесу в дуальній освіті, який забезпечує баланс та взаємопроникність між навчанням у компанії та навчальному закладі. Визначено, що суть балансу полягає у відсутності домінування однієї з сторін навчання та врахуванні академічної складової навчання в навчальному процесі компанії.

Формалізовано елементи навчального плану дуального навчання, інтеграційним елементом двох локацій навчання визначено концептуальне “завдання”, яке студент виконує в компанії. Визначено інтеграційну суть елемента “завдання”, яка полягає у виконанні студентом завдання через застосування знань, отриманих у навчальному закладі, на практиці у компанії.

В результаті формалізації навчального плану дуальної освіти розроблено метод оцінювання результатів навчання студента на робочому місці. Розроблений метод оцінювання результатів навчання студента враховує академічну складову навчання через критерії (компетенції) та підкритерії (дисципліни). Метод оцінює виконання студентом інтеграційного елемента “завдання” в компанії. В основі методу оцінювання результатів навчання використано метод багатокритеріального аналізу TOPSIS. Для використання методу TOPSIS в основі методу оцінювання результатів навчання студента на робочому місці розроблено його модифікацію коригування кінцевих коефіцієнтів невідповідності підсистеми ранжування (компанії) освітній програмі спеціальності. Розроблена формула дала можливість врахувати певну невідповідність спеціалізації компанії навчання студента освітній програмі навчання і, як наслідок, скоригувати кінцеві оцінки студента в компанії. В основі формули коригування невідповідності використано метод аналізу ієрархій.

На основі інтуїціоністських нечітких множин розроблено метод визначення суб’єктивності призначених нечітких трапецієподібних оцінювань експертом в методі TOPSIS. Метод визначення суб’єктивності коригує призначені нечіткі трапецієподібні оцінювання, попередньо визначивши, були вони завищені чи занижені експертом.

Продемонстровано застосування методу оцінювання навчальних досягнень студентів на прикладі компанії навчання студентів у сфері кібербезпеки. Продемонстровано числовий результат застосування методу визначення та коригування суб’єктивності, формули невідповідності компаній освітній програмі.

У третьому розділі “Моделювання інформаційних процесів дуальної освіти для оптимізації витрат компанії” розроблено модель оптимізації вартості навчання студента в компанії в інформаційних процесах дуальної

освіти. Модель оптимізації вартості навчання в цільовій функції максимізує корисність компетенцій для роботодавця, яка попередньо визначена за допомогою модифікованого методу аналізу ієрархій. Розроблена модифікація методу аналізу ієрархій полягає в урахуванні оцінок, визначених попарним порівнянням, куратора із навчального закладу та інструктора із компанії. Дана модифікація враховує оцінки куратора як дорадчі у порівнянні з груповим середнім методом. Модель оптимізації вартості навчання в компанії враховує академічну складову навчання через параметризацію обмежень мінімального та максимального часу підготовки згідно з вимогами законодавства у сфері дуальної освіти. В моделі параметризовано обмеження вартості години підготовки компетенцій освітньої програми спеціальності та загального грошового фонду компанії, виділеного на підготовку. Продемонстровано числовий приклад застосування моделі оптимізації та модифікації методу аналізу ієрархії на прикладі компанії з кібербезпеки. Наведено приклад застосування модифікації методу аналізу ієрархій у порівнянні із груповим середнім методом.

Розроблено модель інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти. В основі моделі використано метод багатокритеріального аналізу VIKOR. Розроблена модель обрання дисциплін навчальної програми за вибором складається з трьох підсистем експертів: студента, куратора з навчального закладу та інструктора з компанії. У кожній підсистемі експерт має власну систему критеріїв, вагові коефіцієнти. Для побудови моделі обрання студентом дисципліни за вибором розроблено модифікацію методу VIKOR із урахуванням критеріїв підсистем ранжування та визначення стратегії призначення коефіцієнтів максимальної групової корисності у кожній підсистемі ранжування. Продемонстровано числовий приклад

застосування модифікованого методу VIKOR у порівнянні з результатами застосування методу без запропонованих модифікацій.

Розроблено модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму освіти. Для побудови моделі модифіковано метод багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень VIKOR-TODIM. Суть модифікації VIKOR-TODIM методу полягає у додаванні коефіцієнта впливу екстернальних значень на процес ранжування альтернатив. Модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму освіти стосується з підсистем студента й компанії. У кожній підсистемі є власні критерії ранжування, вагові коефіцієнти. Суть розробленої моделі інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму освіти полягає в ранжуванні компанією абітурієнтів, які включили її у власний список ранжування компаній, бажаних для навчання. Критерії ранжування компанією абітурієнтів включають показники та критерії ранжування абітурієнтом компаній.

У четвертому розділі “Інформаційне моделювання та реалізація порталу дуального навчання” проведено моделювання динаміки знанневих потенціалів у дуальній системі освіти. Визначено джерела поширення, формування знанневого потенціалу в студента. Формалізація динаміки знанневих потенціалів дала можливість розробити моделі інформаційних процесів компонентів веб-порталу дуального навчання.

Обґрунтовано вибір засобів моделювання. Розроблено інформаційні моделі компонентів підтримки прийняття рішень засобами мови моделювання UML. Для побудови моделей використано діаграми прецедентів, класу, взаємодії. За допомогою розроблених моделей продемонстрована структура та логіка програмної реалізації компонентів підтримки прийняття рішень веб-порталу автоматизації інформаційних процесів дуального навчання.

Розроблено прототип веб-порталу дуального навчання. Продемонстрована структура порталу із наявністю особистих кабінетів студента, куратора з навчального закладу та інструктора з компанії. Показано, що кожен із користувачів має окремі права доступу до компонентів та їх інструментів у своєму особистому кабінеті. Розроблено компонент онлайн журналу навчання із можливістю перегляду усім користувачам, для інструктора реалізована можливість призначати завдання і виставляти оцінки, для студента - заповнювати хід виконання завдання, для куратора - переглядати коментувати. Для інструктора компанії реалізовано такі компоненти в особистому кабінеті: оптимізація вартості навчання, компонент оцінювання навчання, підсистема компонента обрання предмета за вибором, компонент вступу на дуальну форму навчання, АНР застосунок. Для студента реалізовано в особистому кабінеті компонент обрання дисципліни за вибором. Для куратора - підсистема компонента обрання дисципліни за вибором, АНР застосунок. Прототип веб-порталу реалізований із використанням мови програмування PHP, баз даних MySQL, Java script, мови розмітки HTML, каскадних таблиць стилів CSS.

Основні наукові результати дисертації опубліковано в 11 працях, зокрема: дві статті [140], [141] - у наукових фахових періодичних виданнях України; дві - у закордонних фахових періодичних виданнях [117], [139]; 7 публікацій [18], [19], [20], [21], [22], [23], [65] - у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових, науково-технічних конференцій. З них одна робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus [65], дві роботи [140], [141] - до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.

Ключові слова: інформаційний процес, методи підтримки прийняття рішень, нечіткі множини, багатокритеріальні методи прийняття рішень, оптимізація, метод аналізу ієрархій, дуальна освіта.

SUMMARY

Lechachenko T.A. Models and methods for decision making support in informational processes of dual education. – Qualifying scientific work on the right of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 122 “Computer Science”. -Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2021.

Abstract. The thesis is devoted to the solution of an important scientific problem concerning the development of models and methods for decision making support in informational processes of dual education.

The relevance of the investigation is substantiated, the connection between the work with the research topic, is presented, the objective and purpose of the investigation is determined, the research object and subject, are defined the research methods used to achieve the goal of the thesis are given in the introduction. The scientific novelty, practical significance of the obtained results, and personal creative contribution of the applicant are formulated. Information concerning testing and publication of research results is given.

In the first section “Analysis of the research subject area and formulation of a scientific problem” the essence of the information process is analyzed taking into account its fundamental importance in the theory of computer science, the essence of information technology as a system caused by information processes is analyzed. The definition of the information process and technology is formulated. The analysis of these basic concepts made it possible to formalize information processes in dual education.

The essence of the dual form of education from the point of view of domestic scientists is considered, the definition of this form of education is determined. The prerequisites for the introduction of dual education in Ukraine are analyzed. The experience of the dual form of education functioning in the countries with a long tradition of such training, particularly, Switzerland, Germany, Austria, as well as countries with recent implementation experience, is considered. The concept of the introduction of dual form of education in Ukraine is outlined, in particular, the importance of its complete implementation in higher education is emphasized.

The information processes in dual education, information technologies for their implementation are analyzed. The analysis of models and methods for decision making support is carried out.

On the basis of this analysis, the scientific task, consisting in the development of models and methods of decision making support in the information processes of dual education is determined. The development of information models for decision making support is presented by means of UML modeling language and the prototype of web portal for dual learning on their basis is implemented.

In the second section, “Development of the evaluation method of student achievements in informational processes of dual education” the information processes in the dual education system are formalized with their definition as separate information processes in the company and educational institution. It is determined that the intersection of the information processes of the company and educational institution is a prerequisite for the integration of the educational process in dual education, ensuring balance and mutual permeability between education within the company and educational institution. It is defined that balance is essence is in the absence of dominance of one of the training sides and taking into account the academic component of training in the educational process of the company.

The integration essence of the “task” element, consisting of the student's fulfillment of the task by application of knowledge gained in the educational institution during internship in the company is defined.

As a result of formalizing the curriculum of dual education, the method for learning outcomes assessment in the workplace is developed. The method of learning outcomes assessment is based on the method of multiple-criteria analysis TOPSIS. In order to use TOPSIS method on the basis of the assessment model, the modification is developed for the correction of the final coefficients of the ranking subsystems inconsistency (of the company) with the specialty educational program. The developed formula made it possible to take into account a certain discrepancy between the specialization of the student's training company and the educational training program and, as a result, to correct the student's final grades in the company. The formula for inconsistency correction is based on the method of pairwise comparison of the analytic hierarchy process. The developed method for the assessment of the student learning outcomes takes into account the academic component of learning through criteria (competencies) and subcriteria (disciplines). The method evaluates the student's performance of the "task" integration element in the company.

On the basis of intuitionistic fuzzy sets, the method for determining the subjectivity of assigned fuzzy trapezoidal evaluations by the expert is developed. The method for determining subjectivity corrects the assigned fuzzy trapezoidal assessments, previously determining whether they are overestimated or underestimated by the expert.

The application of the method of assessing students' academic achievements on the example of the company which trains students in the field of cybersecurity is demonstrated. The numerical result of applying the method of determining and correcting subjectivity, the formula of non-compliance of companies with the educational program of the specialty are presented.

In the third section, "Modeling the informational processes of dual education to optimize company costs", the model of cost optimization of the student training in the company in information processes of dual education is developed. The training cost optimization method in the objective function maximizes the usefulness of the competencies for the employer, previously determined using the developed modified analytic hierarchy process method. The developed modification of the analytic hierarchy process method considering into account the assessment determined by pairwise comparison by the mentor from the educational institution in a pairwise comparison by the instructor from the company of the educational program competencies of the specialty. This modification takes into account the mentor's assessments as advisory compared to the group average method. The model for optimizing the training cost in the company takes into account the academic component of training by parameterizing the restrictions on the minimum and maximum training time in accordance with the requirements of the legislation in the field of dual education. The limitation of the cost per hour of competencies training for specialty educational program and the general fund of the company intended for training are parameterized in the model. A numerical example of the optimization model application and modification of the analytic hierarchy process method is demonstrated using the example of cybersecurity company. The example of the application of the modification method of pairwise comparison of analytic hierarchy process with group mean is given.

The model of information processes of the student's choice of the subject of educational program in dual education is developed. The model is based on VIKOR multiple-criteria analysis method. The developed model for choosing the subject of the educational program for choice consists of three subsystems: the experts, the student, the mentor from the educational institution and the instructor (mentor) from the company. In each subsystem, the expert has its own system of criteria, weighting factors. The modification of VIKOR method is

developed taking into account the criteria of ranking subsystems and determining the strategy of assigning coefficients of maximum group utility for each ranking subsystem. The numerical example of modified VIKOR method application is presented in comparison with the results of the method application without the proposed modification.

The model of information process of applicant entry to dual form of education is developed. To build the model, the method of multiple-criteria decision analysis VIKOR-TODIM is modified. The essence of the modification is to add the influence of external values on the alternatives ranking in addition to the group utility coefficient. The model of information process of applicant entry to dual form of education consists of student and company subsystems. Each subsystem has its own ranking criteria and weights. The essence of model the applicant entry to dual form of education consists of the ranking by the company of the applicants who have included it in their own list of ranking of the desired training companies. The criteria for ranking applicants by the company also include indicators and their criteria ranked by the applicant from a companies selection. The structure of the model makes it possible to determine the best company, while taking into account the desire of the applicant to study in this company. The essence of the model of the applicant entry to dual form of education enables the applicant to choose a company for studying in the dual form of education, taking into account the influence of the parties on each other when the ranking is forming.

In the fourth section, “Information modeling and implementation of the dual learning portal ” the modeling of the dynamics of knowledge potentials in the dual system of education is carried out. The sources of dissemination, formation of knowledge potential in the student are determined. The dynamics of the spread of knowledge potentials is formalized taking into account their diffusion-like redistribution.

The choice of modeling tools is substantiated. Information models of decision making support components using UML modeling language tools are developed. Diagrams of precedents, class, and interactions are used to build the models. The developed models demonstrate the structure and logic of software implementation of decision making support components of the web portal for automation of information processes of dual education. Using the constructed models, the roles of the actors in decision support models are illustrated: optimization of the training cost in the company, the method for assessing the student's training in dual education, choosing the subject, the model of applicant's admission to dual form of education, the sequence of their interaction with the software algorithm, the sequence of implementation of the algorithm. The developed models formalized the technical implementation of the web portal of dual learning.

The prototype of the dual education web portal is developed. The structure of the portal with the presence of student personal accounts, the mentor of educational institution and the instructor of the company is presented. It is shown that each of the users has separate rights to access the components and their tools in his personal account. Online learning log component is developed. It can be viewed by all users, for the instructor it is possible to assign tasks and give marks, for the student - to fill in the progress of the task, for the mentor - to view and leave comments. For the instructor of the company, such components are implemented in the following personal account as: cost optimization, training assessment component, the subsystem of component for choosing a subject, the component of applicants entry to dual form of training, AHP application. For the student the component of choosing the subject are implemented in his personal account. For the mentor - the subsystem of the component of choosing the subject, AHP application. The prototype of the web portal is implemented using the PHP programming language, MySQL database, Java script, HTML markup language, cascading CSS style tables.

The main scientific results of the thesis were published in 11 papers, particularly: two articles [140], [141] in scientific professional periodicals of Ukraine; two article in a foreign professional periodical [117], [139]; 7 publications [18], [19], [20], [21], [22], [23], [65] in the materials of international and All-Ukrainian scientific and technical conferences. One work is included into international scientometric database Scopus [65], two works [140], [141] are part of the international scientometric database Index Copernicus.

Keywords: information process, methods of decision support, fuzzy sets, multiple-criteria decision analysis, optimization, analytic hierarchy process, dual education.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Hrod I., Lechachenko T. Mathematical model of training optimization in the company as a component of information technology for dual education system. Frankfurt. TK Meganom LLC. Paradigm of knowledge. 3(47). 2021. P. 105-116. **ISSN: 2520-7474** (Індексується в Google scholar)

2. Lechachenko T. AHP-TOPSIS method as a component of information technology for dual education system. New York. TK Meganom LLC. Innovative Solutions in Modern Science. 4(48). 2021. P. 80-91. **ISSN: 2414-634X** (Індексується в Google scholar)

3. Lechachenko T. Analysis of foreign experience of implementation of the dual form of education and accessibility of its implementation in Ukraine. Technology audit and production reserves, 2019, 3.2 (47): 31-38. **ISSN: 2664-9969** (Індексується в Index Copernicus, Google Scholar).

4. Lechachenko T., Karelina O. Modified VIKOR method as a component of decision support of information technology of the dual form of education. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2021, 2(102), p. 121 – 129. **ISSN: 2522-4433** (Індексується в Index Copernicus, Google Scholar).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Bomba A., Lechachenko T., Nazaruk M. Modeling the Dynamics of “Knowledge Potentials” of Agents Including the Stakeholder Requests. In: *International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications*. Springer, Cham, 2021. p. 75-88. ISBN: 978-3-030-80471-8 (Індексується в Scopus).

6. Лечаченко Т. Академічний капіталізм – нова парадигма реформування вищої школи. Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“ (Тернопіль, 27-28 листопада 2019 року). Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. С. 139–140.

7. Лечаченко Т. Модель інформаційної технології дуальної форми освіти. Матеріали I Міжнар. спеціаліз. наук. конф., "Сучасні напрямки розвитку автоматизації, транспортних систем, технічних та комп'ютерних наук" (Полтава, 30 квітня 2021 року). Полтава: Міжнародний центр наукових досліджень., 2021. С. 61–64.

8. Лечаченко Т. Постановка задачі оптимізації вартості навчання в системі дуальної форми освіти. Матеріали VIII науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“, (Тернопіль, 9-10 грудня 2020 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 178.

9. Лечаченко Т. А. Реалізація інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти. Матеріали 10-ї науково-практичної конференції

"Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі", (Львів, 21-23 листопада 2018 року). Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 30–37.

10. Лечаченко Т. Інформаційні технології в дуальній освіті. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій“ присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, (Тернопіль, 20-21 червня 2019 року). Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. С. 32–34.

11. Лечаченко Т. Модель оцінювання результатів навчання студента в системі дуальної освіти. ІМСТ, (Тернопіль, 11-12 грудня 2019 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. С. 11.