

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛЕЧАЧЕНКО ТАРАС АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 681.3:378

ДИСЕРТАЦІЯ

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В
ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСАХ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ**

122 – Комп'ютерні науки

12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ /Т.А. Лечаченко/

Наукові керівники: Карпінський Микола Петрович, доктор технічних наук,
професор; Кареліна Олена Володимирівна, кандидат педагогічних наук, доцент

Тернопіль - 2021

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 знаннєвих потенціалів у дуальній системі освіти. Визначено джерела поширення, формування знаннєвого потенціалу в студента. Формалізація динаміки знаннєвих 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 [131], [132] - у наукових фахових періодичних виданнях України; дві - у

закордонних фахових періодичних виданнях [109], [130]; 7 публікацій [18], [19], [20], [21], [22], [23], [67] - у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових, науково-технічних конференцій. З них одна робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus [67], дві роботи [131], [132] - 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 studing 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 [131], [132] in scientific professional periodicals of Ukraine; two article in a foreign professional periodical [109], [130]; 7 publications [18], [19], [20], [21], [22], [23], [67] in the materials of international and All-Ukrainian scientific and technical conferences. One work is included into international scientometric database Scopus [67], two works [131], [132] 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.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ	25
1.1. Інформаційні процеси, їх ідентифікація та формалізація	25
1.2. Аналіз проблем сучасного стану вищої освіти в Україні та шляхи їх усунення через комп'ютерну реалізацію інформаційних процесів дуальної освіти	32
1.3. Аналіз моделей та методів підтримки прийняття рішень	53
1.4. Постановка наукового завдання, мети та задач дисертаційного дослідження	56
Висновки до першого розділу	57
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТУДЕНТА В ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСАХ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ	59
2.1. Формалізація компонентів навчального плану дуальної форми навчання.....	59
2.2. Формалізація інформаційного процесу оцінювання результатів навчання в системі дуальної освіти.....	68
Висновки до другого розділу	93
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ КОМПАНІЇ	95
3.1. Модель оптимізації витрат компанії на навчання студента в інформаційних процесах дуальної освіти	95
3.2. Модель інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти	113
3.3. Модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання.....	123
Висновки до третього розділу	133
РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПОРТАЛУ ДУАЛЬНОГО НАВЧАННЯ	135
4.1. Моделювання динаміки знансєвих потенціалів у системі	

дуальної освіти	135
4.2. Моделі компонентів інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти	148
4.3. Мета розроблення, вимоги, структура інформаційного порталу дуальної форми освіти.....	164
4.4. Функціональна структура комплексу компонентів інформаційного порталу дуального навчання.....	166
4.5. Програмна реалізація, засоби та інструменти	168
4.6. Інтерфейс веб-порталу	170
Висновки до четвертого розділу	178
ВИСНОВКИ	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	184
ДОДАТКИ	203

ВСТУП

Актуальність теми. Інформаційні процеси, технології, моделі та методи їх організації в епоху індустрії 4.0 є наріжним каменем ефективного розвитку організацій, установ, компаній, навчальних закладів.

Варто зазначити, що інформаційні процеси є критично важливими в міжгалузевих системах, таких, як дуальна форма здобуття освіти. Дуальна форма навчання передбачає паралельне навчання студента в навчальному закладі та компанії на основі тристороннього договору між фірмою, закладом освіти та студентом. В Україні згідно з Законом “Про освіту” [35] основними інституційними формами здобуття освіти є: очна (денна, вечірня), заочна, дистанційна, мережева. Інформаційні процеси в таких формах освіти, як денна, заочна дистанційна відбуваються та циркулюють між двома сторонами взаємодії: навчальним закладом і студентом. Навчання відбувається в єдиній системі навчального закладу. Накопичення знаннєвого потенціалу студентом здійснюється через взаємодію з викладачами, одногрупниками, джерелами знань при самоосвіті. Результатом накопичення знаннєвих потенціалів є формування професійних компетенцій [66]. Інформаційні процеси формування знаннєвих потенціалів у межах навчального закладу формалізовані й інтегровані у навчальний процес. При навчанні студентів за очною, вечірньою та дистанційними формами навчання, інформаційний обмін відбувається в замкненій системі в межах навчального закладу. Основними дійовими особами в даній інформаційній системі є студенти та викладачі. У дуальній освіті разом із навчальним закладом компанія є стейкхолдером процесу навчання. В свою чергу, фірма є окремою системою з власними інформаційними процесами. Дуальна форма освіти, як зазначалося, реалізується паралельно в компанії та навчальному закладі, тому є комплексною системою, яка складається з підсистем. Формалізація навчального процесу в двох підсистемах є окремим завданням, від вирішення якого залежить взаємодія та інтеграція стейкхолдерів системи. Особливостями дуальної системи освіти зважаючи на природу її функціонування, є певне домінування однієї з сторін – компанії або навчального закладу [131]. В

результаті чого відбувається переважання контенту процесу навчання одного із стейкхолдерів. При такому домінуванні порушується баланс академічної та практичної складової навчання. Внаслідок комплексності дуальної форми навчання можуть виникати проблеми недостатньої інтеграції інформаційних процесів, взаємодії дійових осіб підсистем навчання (компанії та навчального закладу), що, у свою чергу, спричиняє проблеми співпраці [95]. Для вирішення даної проблеми у таких формах навчання, як очна, заочна і дистанційна використовують, зокрема, інформаційні технології, які інтегрують навчальний процес при самостійному навчанні студента або у віддаленому режимі. Засоби інформаційних технологій систематизують інформаційні процеси навчання, інтегруючи їх у єдину систему. Серед відомих LMS (learning management system), які набули значного поширення у закладах освіти, є Atutor, Moodle, Ilias. Для організації інформаційних процесів у дуальній освіті використовуються разом із переліченими вище LMS і додаткові інформаційні системи. Зокрема відомими інформаційними системами, що використовуються в дуальній освіті, є Realto [73] та BLoK [129]. Дані системи можуть використовуватися спільно з LMS. Особливостями доповнення традиційних систем є можливість ведення журналу завдань, виконаних у компанії. Як уже зазначалося, дуальна освіта є комплексною системою з окремими інформаційними процесами компанії та навчального закладу, ефективне функціонування яких вимагає їх інтеграції. При забезпеченні інформаційної інтеграції різних локацій навчання навчальний процес буде узгодженим та відповідатиме академічним стандартам освітньої програми, забезпечуючи при цьому здобуття професійних компетенцій студентом, які будуть відповідати вимогам ринку. Для забезпечення виконання даного завдання необхідна формалізація інформаційних процесів дуальної освіти й розроблення на даній основі комплексу моделей та методів підтримки прийняття рішень. Комплекс моделей та методів дуальної освіти має забезпечувати інструментами співпраці й інтеграції зацікавлених сторін навчального процесу: компанії, навчального закладу, студента.

Розробленням інформаційних технологій та систем у різних прикладних галузях науки займалися Лупенко С. А., Литвин В. В., Шаховська Н. Б., Веретеннікова Н. В., Литвиненко Я. В., Оробчук О. Р., Артеменко О. І.; захищеності інформаційних систем - Карпінський М. П. Дослідженнями в інформаційному соціокомунікативному проєкті класу “Розумне місто” займалися вчені Мацюк О. В., Дуда О. М.; дослідженнями в оцінюванні результатів роботи академічного персоналу - Пукас А. В.; в області дистанційного навчання - Кареліна О. В. Дослідженнями та моделюванням інформаційних процесів займалися Бомба А. Я., Назарук М. В., Горбулін В. П., Додонов А. Г., Ланде Д. В.

Внесок перелічених науковців створює передумови для розроблення моделей та методів інформаційних процесів дуальної освіти. Зокрема, дослідження інформаційних технологій моделювання освітнього соціокомунікаційного середовища великого міста Назарук М. В. [26] є важливими для формалізації потоків інформаційних процесів в освіті, розуміння накопичення знанневих потенціалів агентами. Інформаційне моделювання дуальної освіти у сфері ІТ Кунанець Н. Е., Пасічник В. В., Голощук Р. О., Веретеннікова Н. В. [108] створили засади розвитку подальших досліджень у цьому напрямку. Дослідженнями в дуальній освіті займались закордонні вчені Gessler M., Euler D., Cattaneo A., Deissingen T., Gonon P., Koudahl P., Dionisius R.

Розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень у дуальній системі освіти необхідне для забезпечення кооперації навчального закладу та компанії, прийняття узгоджених рішень, дотримання балансу навчання, ефективної взаємодії учасників освітнього процесу. Вирішення даного наукового завдання є нагальним, зважаючи на комплексність даної форми навчання та проблеми співпраці зацікавлених сторін, збереження академічної складової навчання при реалізації практичної. Розроблення моделей та методів в інформаційних процесах дуальної освіти також зумовлено її адаптуванням при впровадженні в країни з відсутністю такого досвіду.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження проведено в рамках науково-дослідної роботи Тернопільського

національного технічного університету імені І. Пулюя, зокрема наукової теми “Моделі і методи захисту інформаційних процесів у корпоративних системах та освітніх середовищах”, номер держреєстрації №0121U114176, де здобувачу належить формалізація інформаційних процесів у дуальному навчанні, модифікація методів багатокритеріального аналізу для оцінювання кіберзагроз.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти як комплексу концептуальних компонентів для стейкхолдерів системи, забезпечення інтеграції їх взаємодії в освітньому процесі, а також побудова на їх основі прототипу університетського веб-порталу дуальної форми освіти.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно розв’язати такі завдання:

1. Провести аналіз наукових праць з проблем формалізації інформаційних процесів дуальної освіти та моделювання методів підтримки прийняття рішень з метою постановки наукового завдання.
2. Розробити моделі та методи підтримки прийняття рішень стейкхолдерів дуальної освіти:
 - метод оцінювання результатів навчання студента в компанії з урахуванням академічної складової навчання;
 - модель оптимізації витрат навчання в системі дуальної освіти з урахуванням академічної складової навчання;
3. Визначити інформаційні процеси в дуальній освіті, формалізувати їх. Розробити моделі інформаційних процесів концептуальних компонентів дуальної форми освіти та їх складових: онлайн журнал навчання, кабінети стейкхолдерів та інтерфейс введення параметрів підтримки прийняття рішень.
4. Реалізувати прототип веб-порталу, базуючись на інформаційних моделях дуального навчання, який буде інтегрувати зацікавлені сторони в дуальній

системі та на основі розроблених моделей і методів підтримки прийняття рішень удосконалив інформаційні процеси дуальної освіти.

Об'єктом дослідження є моделювання підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти.

Предмет - моделі, методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в дисертаційній роботі мети використано такі методи дослідження: системного та порівняльного аналізу для визначення актуальності та постановки наукового завдання дисертаційної роботи; багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень для побудови моделей оцінювання навчання студента в системі дуальної освіти, обрання предмета за вибором, вступу на дуальну форму навчання; методи теорії нечітких множин для призначення оцінок експертами; методи лінійної цілочислової оптимізації для побудови моделі оптимізації вартості навчання; методологія інформаційного моделювання UML для розроблення вимог архітектури та прототипу університетського веб-порталу дуальної освіти.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено модель оптимізації витрат компанії на навчання студента в інформаційних процесах дуальної освіти за рахунок пріоритезації компетенцій освітньої програми модифікованим методом аналізу ієрархій. На відміну від класичного методу аналізу ієрархій, який ранжує альтернативи однієї системи, у моделі оптимізації витрат компанії використано розроблений метод аналізу ієрархій двох підсистем, що дозволило врахувати домінуючу думку компанії та дорадчу думку університету.

2. Вперше розроблено модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання, яка при виборі компанії для навчання абітурієнта враховує критерії обох стейкхолдерів: абітурієнта та компанії за рахунок удосконалення методу багатокритеріального аналізу VIKOR-TODIM. На відміну від класичного методу VIKOR-TODIM до критеріїв ранжування підсистеми (компанії) додано коефіцієнт впливу іншої підсистеми (абітурієнтів) на процес

ранжування, що уможливило взаємне ранжування, коли альтернатива (абітурієнт) є одночасно суб'єктом та об'єктом ранжування.

3. Вперше розроблено модель інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти за рахунок удосконалення методу багатокритеріального аналізу VIKOR. На відміну від класичного методу VIKOR який ранжує альтернативи в одній системі розроблено алгоритм призначення коефіцієнта групової корисності для застосування методу VIKOR у різних підсистемах, що дозволило врахувати думки стейкхолдерів дуальної освіти із власною системою критеріїв та усунуло невизначеність отримання кінцевих оцінок.

4. Набуло подальшого розвитку застосування методу багатокритеріального аналізу TOPSIS для оцінювання навчальних досягнень студента в інформаційних процесах дуальної освіти, запропонований метод TOPSIS який за допомогою розробленої формули невідповідності підсистем альтернатив ранжування враховує ранжування в різних підсистемах на відміну від класичного методу TOPSIS, що ранжує альтернативи в одній системі, що дало змогу врахувати академічну складову навчання в дуальній освіті через невідповідність компанії навчання студентів освітній програмі. Запропоновано використання нечітких інтуїціоністських множин для визначення та коригування суб'єктивності в призначених експертами оцінках у методі багатокритеріального аналізу TOPSIS, що дало змогу зменшити суб'єктивізм при призначенні оцінок експертами у методі TOPSIS і як наслідок підвищити точність оцінок.

Практичне значення отриманих результатів. Практично важливим результатом є розробка із використанням мови програмування PHP та системи управління базами даних MySQL прототипу веб-порталу дуальної освіти, що забезпечить інтеграцію зацікавлених сторін у системі дуальної освіти, і, як наслідок, підвищить ефективність навчального процесу. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (акт впровадження від 23.03.2021 р.). Результати роботи впроваджено в бізнес-процеси ТОВ “Реворк-Спейс”.

Результати дослідження підтверджують доцільність упровадження розроблених моделей і методів підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти для збалансування змісту навчання студента в двох локаціях: компанії та навчальному закладі та, як наслідок, набуття спеціальності, яка буде відповідати академічним вимогам і потребам ринку праці. Компоненти моделей і методів підтримки прийняття рішень веб-порталу дуальної освіти, зокрема оптимізація вартості навчання надасть, компаніям інструмент отримання максимізації корисності від навчання студента в компанії та мінімізації його вартості. Таким чином компанії в дуальній системі навчання зможуть самі налаштувати тривалість навчання в межах академічних вимог зважаючи на його сукупну корисність для них із урахуванням обмежень бюджету. Компонент вступу на навчання за дуальною формою освіти надасть можливість абітурієнту та компанії обрати альтернативу, опираючись на системний підхід при здійсненні вибору. Компонент оцінювання результатів навчання в компанії забезпечить урахування академічної складової освіти, при цьому задовільняючи інтереси компанії в розвитку необхідних професійних компетенцій. Упровадження компонента обрання студентом дисципліни за вибором допоможе йому обирати дисципліни мотивовано, опираючись на думку експертів, враховуючи свої та їхні інтереси.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційної роботи сформульовані та отримані автором самостійно. У наведених працях (додаток А), опублікованих із співавторами, здобувачеві належать: зокрема у [67] формалізовано моделювання знаньєвих потенціалів із урахуванням думки інструктора компанії, тобто запитів замовника, [132] – розроблено модель обрання студентом дисципліни за вибором, модифіковано метод багатокритеріальної оптимізації VIKOR із виділенням підсистем критеріїв, розроблено алгоритм призначення коефіцієнта групової корисності та агрегацію кінцевих оцінок ранжування, [109] – розроблено модель оптимізації вартості навчання в компанії із урахуванням академічної складової навчання, розроблено

алгоритм урахування дорадчої думки експерта при ранжуванні альтернатив методом АНР.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, у дисертаційній роботі використані результати особистих досліджень здобувача.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались на конференціях: International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications; VIII науково-технічній конференції “Інформаційні моделі, системи та технології”, 2020; IV Міжнародній науково-технічній конференції “Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій”, присвяченій 80 – річчю з дня народження професора Я. І. Проця, 2019; VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, 2019; VII науково-технічній конференції “Інформаційні моделі, системи та технології”, 2019; 10-й науково-практичній конференції “Інноваційні комп’ютерні технології у вищій школі”, 2018; I Міжнародній спеціалізованій науковій конференції. м. Полтава, 30 квітня, 2021.

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 11 працях, зокрема: дві статті [131], [132] – у наукових фахових періодичних виданнях України; дві статті – у закордонних фахових періодичних виданнях [109], [130]; 7 публікацій [18], [19], [20], [21], [22], [23], [67] – у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових, науково-технічних конференціях. З них одна робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus [67], дві роботи [131], [132] – до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 181 найменувань та додатків. Повний обсяг дисертації складає 243 сторінки, основний зміст викладено на 167 сторінках, де наведено 47 рисунків та 17 таблиць.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ

У розділі проаналізовано суть інформаційних процесів, окреслено їх визначення. Проаналізовано поняття інформаційної технології, дано її визначення. Здійснено аналіз передумов упровадження дуальної освіти в Україні, проаналізовано суть поняття дуального навчання, дано авторське визначення. Визначено особливості функціонування дуальної освіти закордоном, окреслено концепцію реалізації дуальної освіти в Україні. Проведено аналіз наукових праць моделей та методів підтримки прийняття рішень. Визначено наукового завдання, мету та задачі дисертаційного дослідження.

1.1. Інформаційні процеси, їх ідентифікація та формалізація

Проведемо аналіз суті інформаційних процесів як фундаментальної складової комп'ютерних наук.

У роботі [15] автор виділяє головні напрямки розвитку інформаційних процесів: створення високопродуктивних, високотехнічних, економічно доступних та “гнучких” інформаційно-комунікаційних технологій як засобів виробництва, опрацювання, передавання та зберігання інформації; удосконалення та розширення потенціальних можливостей інформаційних ресурсів; процес підготовки та підвищення кваліфікації фахівців різних спеціальностей і галузей; розроблення досконалих систем безпеки та захисту інформації [15].

Створення високопродуктивних інформаційних технологій та процес підвищення кваліфікації фахівців автор виділяє як одні з основних напрямів розвитку інформаційних процесів. У сучасних реаліях розвитку суспільства на порозі четвертої промислової революції навчання фахівців та інформаційні технології нерозривно взаємопов'язані та взаємозумовлені. Розуміння сутності інформаційних процесів, їх формування, обміну, зворотніх зв'язків між ними є критично важливим завданням при побудові моделей та методів предметної області.

У дослідженні [50] автор представляє інформаційний процес (information process, IPr) трьома множинами: $IPr = (I_{вх}; IT; I_{вих})$, де $I_{вх}, I_{вих}$ – бітові множини, що пов’язані між собою інформаційною технологією: $I_{вих} = IT(I_{вх})$; $IT := (I; F)$ – орієнтований граф, для якого $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ – набір з n інформацій, що формуються в рамках процесу; $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ – набір з m функцій, що визначають сутність технології опрацювання інформації. Кожна функція в рамках інформаційного процесу у випадку можливості її алгоритмізації також може бути представлена у вигляді бітового набору. Таким чином, науковець робить висновок, що представлений спосіб формалізації дозволяє: визначати межі інформаційних процесів ($I_{вх}, I_{вих}$); деталізувати до потрібного рівня кожен процес через набір інформацій $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ та набір дій з цією інформацією $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$; взаємопов’язувати інформаційні процеси між собою (вихідна інформація одного процесу є вхідною інформацією для іншого)[50].

Із даної формалізації можемо виділити такі етапи дослідження предметної області інформаційних процесів:

- деталізація до визначеного рівня абстрагування інформацій, набір дій з нею;
- встановлення взаємозв’язку між інформаційними процесами;
- визначення технології опрацювання інформації з вхідних інформаційних процесів у вихідні.

Ще однією важливою складовою є визначення суб’єктів, що генерують інформаційні процеси, є їх користувачами, та зв’язки між ними. У роботі [3] автори пропонують декомпозицію інформаційного впливу одного об’єкта на інший на такі етапи:

- генерація джерелом впливу даних, інформаційних елементів та інформаційних сукупностей;
- передавання інформації джерелом впливу;
- прийом інформації реципієнтом;
- генерація сукупності даних, інформаційних елементів і нових сукупностей об’єкта впливу;

– відповідні активні дії об'єкта впливу [3].

Також у роботі [3] наведено таку послідовність етапів інформаційного впливу, як: попередня розвідка (PI) (виявлення поточної обстановки, стан супротивника (Op), визначення тенденцій управління), управління супротивником (M) (інформаційний вплив на супротивника з метою передавання йому відомостей відповідно до нашого задуму), оперативна розвідка (OI) (перевірка результатів рефлексивного керування), оперативне управління (OM) – дії наших власних сил для досягнення необхідної мети [3].

Послідовність етапів інформаційного впливу демонструють обов'язкову наявність зворотного зв'язку між реципієнтом та суб'єктом впливу, що дає змогу контролювати й керувати інформаційними процесами. Як вже було зазначено, зворотний зв'язок, обмін та перетворення інформаційних повідомлень опосередковує інформаційна технологія. Засадами побудови та реалізації інформаційної технології є моделі та методи, використані в її основі. Використання конкретних методів для перетворення інформаційних процесів залежить від внутрішніх та зовнішніх факторів середовища, їх функціонування та властивостей інформаційних процесів. У роботі [16] характеристики розвитку будь-якого процесу представляють:

- кількісна динаміка, притаманна процесу або явищу, наприклад, кількість подій в одиницю часу або кількість оприлюднених повідомлень, що мають відношення до нього;
- визначення критичних, порогових точок, які відповідають кількісній динаміці явища;
- визначення проявів у критичних точках, наприклад, виявлення основних сюжетів публікацій в інформаційному просторі щодо обраного процесу або явища;
- після виявлення основних проявів явища в критичних точках, ці прояви ранжуються, і досліджується динаміка розвитку окремих певних проявів до та після певних критичних точок;

- статистичний, кореляційний та фрактальний аналізи загальної динаміки й динаміки окремих проявів, на основі яких здійснюються спроби прогнозування розвитку явища й окремих його проявів [16].

Підсумовуючи наведені факти, окреслимо суть інформаційного процесу як множини інформаційних повідомлень, об'єднаних концептуальною цінністю та метою для суб'єктів його використання. Інформаційна технологія трансформує множину інформаційних повідомлень відповідно до їх цільового призначення. Таким чином, для побудови моделей та використання методів в основі інформаційної технології в дуальній освіті необхідно дослідити та окреслити предметну область інформаційних процесів їх зародження та функціонування й на основі цього ідентифікувати самі інформаційні процеси.

Для формалізації предметної області інформаційних процесів необхідно:

- визначити межі системи;
- дослідити наявність підсистем;
- визначити основних стейкхолдерів, їх логічні зв'язки у предметної області;
- ідентифікувати інформаційні повідомлення, що циркулюють у системі (системах);
- ідентифікувати інформаційні процеси у системі;
- встановити зворотні зв'язки між інформаційними процесами у системі;
- дослідити рівень впливу стейкхолдерів системи на інформаційні процеси.

Зважаючи на взаємозумовленість інформаційних процесів та інформаційної технології в контексті комп'ютерних наук, а також враховуючи дисертаційне завдання розроблення прототипу веб-порталу, проведемо додатково аналіз поняття інформаційної технології.

Сьогодні людство стоїть на порозі четвертої промислової революції індустрії 4.0, де інформація та інформаційні технології є визначальними складовими її впровадження. Інформаційні технології є комплексною категорією, яка включає в себе не лише програмні та технічні комплекси, але й сам концепт управління інформацією її використання. Беручи до уваги стрімкий розвиток інформаційних технологій та тотальну інформатизацію суспільства у різних

сферах народного господарства (онлайн банкінг, адміністративні послуги, моніторинг споживання житлово-комунальних послуг домашніми господарствами, електронний вступ абітурієнтів у освітній галузі, телемедицина, дистанційна робота і навчання в умовах карантину, цифровий паспорт та водійське посвідчення) й завдання дисертаційного дослідження, поняття інформаційної технології потребує ретельного аналізу та визначення дефініції інформаційної технології дуальної форми освіти.

Проаналізуємо поняття інформаційної технології в науковому дискурсі вітчизняних та зарубіжних джерел. У праці [13] дається таке визначення поняття інформаційна технологія – це сукупність методів, виробничих процесів і програмно-технічних засобів, об'єднаних у технологічний ланцюжок, що забезпечує збирання, опрацювання, зберігання, поширення й відображення інформації з метою зниження трудомісткості процесів використання інформаційного ресурсу, а також підвищення його надійності й оперативності. У даному понятті акцент робиться на зниженні трудомісткості та підвищенні надійності й оперативності у використанні інформаційного ресурсу. У визначенні вказано на сукупність методів, проте не розкрито зміст критеріїв поєднання методів у сукупність. Зазначена особливість відіграє важливу роль при компонуванні методів для використання в інформаційній технології. Зокрема від критеріїв вибору методів залежить отриманий ефект від їх використання. У роботі [12] досліджується питання технології дистанційного навчання і наводиться таке визначення: інформаційні технології дистанційного навчання – це технології створення, передавання й збереження навчальних матеріалів, організації та супроводу навчального процесу дистанційного навчання за допомогою телекомунікаційного зв'язку. Дане визначення не розкриває суті дефініції технології, оскільки розуміння поняття технології є неоднозначним, яке може включати такі визначення, як сукупність методів або технологічних процесів або сукупність знань про методи [44]. У роботі [5] інформаційні технології визначаються як технології, що забезпечують і підтримують інформаційні процеси, тобто процеси пошуку, збору, передавання, збереження,

накопичення, тиражування інформації та процедури доступу до неї. У великому тлумачному словнику сучасної української мови [1] дається таке визначення поняття інформаційна технологія – сукупність інформаційних процесів використання засобів обчислювальної техніки, що забезпечують швидкий пошук інформації, доступ до джерел інформації. Дане поняття, на нашу думку, є досить узагальненим, оскільки у визначенні згадується пошук інформації та швидкий доступ до неї. Проте у сучасних реаліях інформаційні технології виконують ширший спектр операцій з інформацією, зокрема видобуток, зберігання, опрацювання та редагування. Крім цього, поняття сукупність інформаційних процесів не розкриває елементів, покладених в основу процесу таких як методів, засобів, організацію самого процесу. В дослідженні [48] наводиться визначення інформаційної технології згідно з міжнародним стандартом ISO/IEC 38500:2015 “Управління інформаційними технологіями в організаціях”. Інформаційні технології визначаються як ресурси, необхідні для збирання, опрацювання, зберігання й розповсюдження інформації. Визначення ресурси у даному понятті є узагальнюючим та не конкретизованим.

Організація ЮНЕСКО наводить таке визначення інформаційної технології: це – комплекс взаємопов’язаних наукових, технологічних, інженерних дисциплін, основним предметом яких є методи ефективної праці людей, зайнятих опрацюванням та зберіганням інформації; обчислювальна техніка і методи організації її взаємодії з людьми та виробничим устаткуванням, їх практична реалізація, а також пов’язані з цим соціальні, економічні та культурні проблеми [29].

У роботі [4] інформаційно-комунікаційні технології або ІКТ визначаються як засоби, пов’язані зі створенням, збереженням, передаванням, опрацюванням і управлінням інформацією. Дане поняття також не розкриває сутті категорії інформаційної технології, оскільки за визначенням “засіб” не розкрито його структури, у визначенні вказано лише функціональне призначення інформаційних технологій.

Таким чином, аналізуючи наведені поняття, можна узагальнити функціональне призначення інформаційних технологій, а саме, як сукупність процесів, пов'язаних із пошуком, представленням, збереженням передаванням, опрацюванням інформації. Забезпечують функціонування даних процесів засоби, методи та способи організації алгоритму їх виконання.

Окреслюючи поняття інформаційної технології дуальної форми освіти, слід зазначити, що дана форма освіти реалізується через навчання студента паралельно в компанії та навчальному закладі на основі договору. Отже, в даній формі освіти стейкхолдерами навчального процесу є компанія, навчальний заклад та студент. Очевидно, що метою усіх стейкхолдерів у дуальній системі навчання є здобуття студентом якісної освіти, яка буде задовольняти потреби ринку в спеціальності здобувача.

Таким чином, інформаційна технологія дуальної форми освіти – це сукупність методів, програмних та технічних засобів, які об'єднані у концептуальні компоненти, комбінація яких надає інструменти впливу на організацію та підтримку навчального процесу, задовольняючи усіх стейкхолдерів системи, досягаючи при цьому оптимального ефекту.

Інформаційна технологія реалізації дуальної форми навчання є необхідним елементом її ефективного функціонування, оскільки навчання відбувається в різних навчальних локаціях та потребує налагодження зворотного зв'язку. Таким чином, інформаційна технологія є основою, яка забезпечує інтеграцію середовищ різних локацій у єдине ціле їх інформаційних процесів, забезпечуючи інтерактивну взаємодію суб'єктів навчання. У додатках Б та В наведений аналіз передумов впровадження дуальної освіти в Україні, суті дуальної освіти, здійснено аналіз функціонування дуальної освіти закордоном. Беручи до уваги особливості реалізації та функціонування дуальної форми освіти, ми пропонуємо уточнене визначення цієї форми навчання здійсненого на основі аналізу представленого у додатку Б та додатку В.

Дуальна форма здобуття освіти – це система навчання, реалізація якої відбувається через діяльність на робочому місці, складовими підсистемами якої є

навчання в компанії (робочому середовищі) та навчальному закладі, де принциповим є зв'язок між локаціями навчання, що забезпечується інформаційною технологією. Мета дуальної форми навчання є здобуття студентами необхідних компетенцій та кваліфікації із забезпеченням високої імовірності подальшого працевлаштування.

1.2. Аналіз проблем сучасного стану вищої освіти в Україні та шляхи їх усунення через комп'ютерну реалізацію інформаційних процесів дуальної освіти

В Україні прийнята концепція дуальної форми освіти [37], в якій описані основні етапи її реалізації. Проаналізуємо формування концепції дуальної освіти, зважаючи на особливості вітчизняної реалізації, окреслимо пріоритетні напрямки та заходи її впровадження зважаючи на проблеми вищої освіти в Україні.

Зародження дуальної форми освіти відбулось у середині ХХ століття в Німеччині. Від зародження до сьогодні дана форма навчання зазнавала постійної модернізації, реагуючи на економічні та соціальні потреби у країнах функціонування. Сьогодні у таких країнах, як Німеччина, Швейцарія, Австрія (див. додаток В) існує своя характерна модель дуальної форми навчання, що склалася історично. Успішне прийняття та функціонування даної форми навчання зумовлене багаторічною традицією учнівства та ремісничих гільдій у цих країнах. Даний факт свідчить про необхідність природного зародження такого типу навчання, як відбувається і в Україні. Специфіка навчання студентів в Україні характеризується його поєднанням із роботою. Таким чином процес навчання стає неефективним через балансування студентом між начальним закладом і роботою. Висока зайнятість студентів у роботі є передумовою впровадження дуального навчання в Україні для ефективного навчання та роботи за спеціальністю.

Дуальну освіту слід упроваджувати з огляду на наявну систему освіти, цілі, культурні, соціальні, економічні умови держави.

В Україні існує чотири [35] інституційних форми освіти: денна, заочна, дистанційна, мережева. Згідно з Законом України “Про освіту” дуальна освіта є

окремою формою освіти, яка цілком не належить до області інституційних та індивідуальних форм. Оскільки дуальна форма освіти більшою мірою залежить від компаній, залучених до навчального процесу, впровадження потребує адаптації до економічних умов країни. Інтеграція моделі має відбуватися з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін (навчальних закладів, студентів, роботодавців). Слід зазначити, що не існує універсальної моделі дуальної форми навчання, придатної для будь-яких умов. Процес запозичення досвіду має ґрунтуватися на визначенні істотних елементів у практиках успішного впровадження, які найбільш наближені до умов країни, що планує впроваджувати дану систему. У протилежному випадку модель як мінімум буде працювати неефективно або взагалі стане непридатною для впровадження.

У дослідженні перенесення моделі німецької дуальної системи професійної освіти в інші країни автор [83] виділяє одинадцять суттєвих елементів, які потрібно врахувати для ефективного впровадження дуальної форми навчання. Автор наводить підходи до впровадження та приклади функціонування і місце кожного елемента у різних країнах, де дуальна система успішно працює. До суттєвих елементів науковець відносить: 1. Розширену мету впровадження: професійне навчання як засіб досягнення економічних, соціальних та індивідуальних цілей. 2. Головну ціль професійного навчання: випускати кваліфікованих працівників із гнучкими кваліфікаціями, які мобільні та здатні працювати у вибраних сферах. 3. Чергування місць навчання у відповідності з дуальним принципом. 4. Професійне навчання як завдання, яке має виконуватися у партнерстві між владою та бізнес-спільнотою. 5. Спільне фінансування професійного навчання. 6. Додаткові програми, що проводяться школами та некомерційними організаціями. 7. Кодифікацію стандартів якості. 8. Кваліфікацію учителів та навчального персоналу. 9. Баланс між стандартизацією та гнучкістю. 10. Створення міцної основи для прийняття рішень та проектування. 11. Соціальне прийняття професійного навчання.

Передумови прийняття дуального навчання (проблеми вищої освіти та передумови впровадження дуальної освіти в Україні наведені додатково в

Додатку Б) в Україні визначаються як економічними потребами, так і соціально-культурними обставинами країни впровадження. В Україні професійне навчання займає особливе місце в соціально-економічному аспекті. На рис. 1.1 зображено кількість студентів, які навчаються, та випущених професійно-технічними навчальними закладами (ПТНЗ) й вищими навчальними закладами (ВНЗ) у 2020 році. Протягом 2020 року, згідно з офіційними даними Державної служби статистики [6], підготовлено (випущено) 114,09 тис. кваліфікованих робітників. Також професійно-технічні навчальні заклади навчали у 2020 році 246,85 тис. учнів.

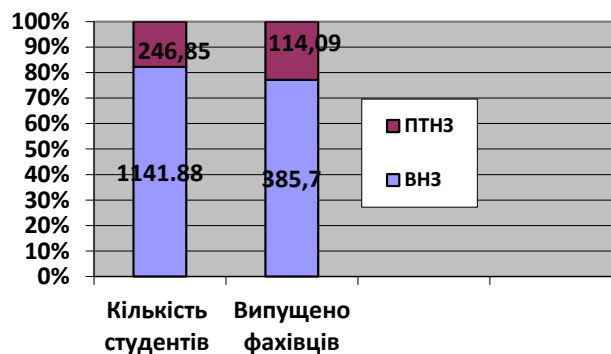


Рисунок 1.1. – Кількість студентів у навчальних закладах 2020 р. (тис.)

У закладах ВНЗ навчалося 1141,88 тис. студентів та було випущено 385,70 тис. Таким чином співвідношення між ПТНЗ та ВНЗ серед студентів які навчаються, становить 17,7 % та 82,3%, серед підготовлених – 22,8% та 77,2%. Аналізуючи дані статистики можна стверджувати про суттєве місце професійного навчання у системі освіти. Проте значна частина студентів все ж належить вищим навчальним закладам. Даний факт свідчить про культурну схильність українців обирати заклади вищої освіти. Таким чином, упровадження дуальної форми навчання на рівні вітчизняних ВНЗ буде мати суттєвий вплив на досягнення соціально-економічних цілей.

Ще однією проблемою, яку ми відзначаємо, є зайнятість студентів та ранній початок трудової діяльності. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про питання стипендіального забезпечення» [28] в кінці кожного семестру формуються рейтинги успішності студентів державного замовлення. Відповідно до складених рейтингів у діапазоні від 40–45% визначаються студенти, які будуть отримувати державні стипендії. В результаті близько половини студентів державного замовлення залишаються без соціальної підтримки. Як наслідок, студенти вимушені шукати роботу або додатковий підробіток під час навчання, що не може не позначитися на якості засвоєння знань. Здобуття освіти перетворюється на неефективний процес, який не використовує весь потенціал учня. Дані Державної служби статистики [7] демонструють кількісно міру зайнятості молоді. Відсоток економічно активної молоді з січня до вересня 2020 року у віці від 15 до 24 років становить 31,9% або 1182 тис. осіб від загальної кількості у даному віці. На рис.1.2 відображено зайнятість у розрізі статі та місцевості.

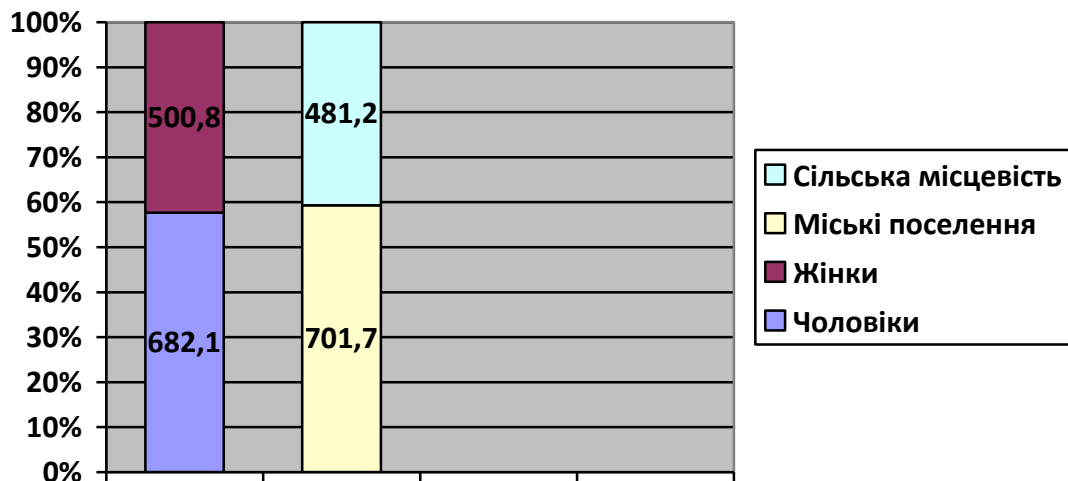


Рисунок 1.2 – Економічна активність у віці від 15 до 24 років (тис.)

Наведений вік економічно активної молоді припадає на період здобуття освіти у ПТНЗ та ВНЗ. Таким чином існує певна дистанція між освітою та роботою, якою займаються студенти під час навчання. Можна припустити, що певна кількість молоді працює під час навчання як за спеціальністю, за якою

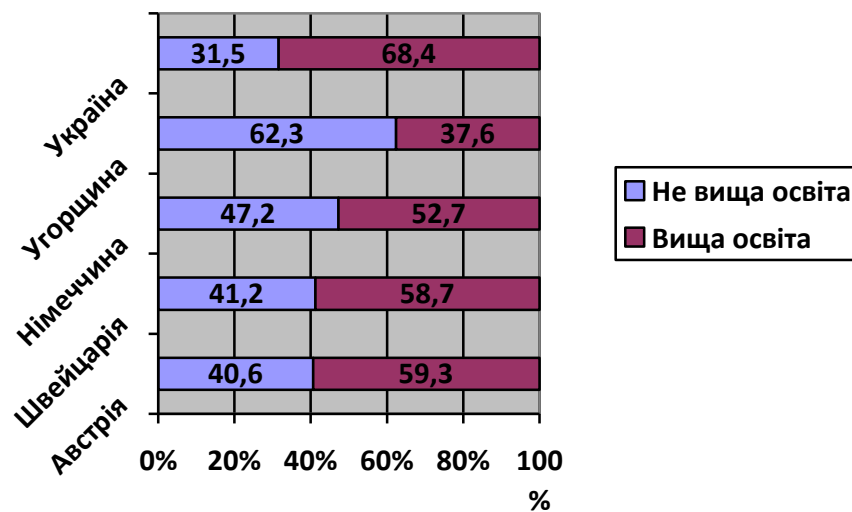
навчається, так і за відмінною від спеціальності роботою. Дуальна форма навчання покликана подолати розрив в обох випадках: у першому робота інтегрується в начальний процес, займаючи місце в навчальному плані, таким чином утворюється синергія двох структур. У другому випадку студент має змогу (як і в першому випадку) укласти контракт із обраною компанією та працювати за фахом, отримуючи зарплату. Отже, передумови впровадження дуальної освіти в Україні ілюструють завдання та цілі, які вона покликана розв'язати в соціально-економічному і освітньому розвитку країни.

Як помітно із статистичних даних Державної служби статистики, кількість студентів у вищих навчальних закладах значно переважає цей показник у ПТНЗ – відсоткове співвідношення становить 82% проти 18% у закладах I-II рівня акредитації. Кількість ПТНЗ та ВНЗ станом на 2020-21 рік становила 711 проти 515 закладів. Кількість прийнятих учнів у 2020 р. році на здобуття ступеня кваліфікованого робітника та учнів закладів I-II рівня акредитації проти III-IV становить 127,9 проти 277,0 тис. осіб. Таким чином, до закладів вищої освіти в Україні вступають удвічі більше абітурієнтів, відповідно відсоткове співвідношення становить 31,5% проти 68,4%. У табл. 1.1 представлено співвідношення кількості абітурієнтів у країнах, які були розглянуті в додатку В.

Таблиця 1.1 – Розподіл абітурієнтів у країнах із наявністю дуальної форми навчання у 2019 році Джерело*[84].

Країна	Професійно-технічна середня освіта	Професійно-технічна освіта	Короткий цикл вищої освіти	Бакалаврат	Магістратура
Австрія	68 728	4 188	32 287	43 186	28 189
Німеччина	468 056	269 417	6 671	522 294	294 219
Угорщина	61 445	37 107	4 660	35 871	19 054
Швейцарія	60 992	6 468	2 580	62 806	25 769

Відсоткові співвідношення обрання абітурієнтами закладів вищої та професійної передвищої освіти (рис.1.3) показують, що в Україні у порівнянні з іншими країнами значна кількість абітурієнтів віддає перевагу здобуттю вищої освіти. Тенденції вибору молоді в Україні демонструють культурні схильності українців до здобуття вищого освітнього рівня. Таким чином, наявність у половини безробітних вищої освіти свідчить про важливість реформ саме у вищій освіті.



Рисунком 1.3 – Співвідношення вступу на рівнях освіти * Джерело: складено автором на основі [84].

Тому модель дуальної форми навчання слід розглядати по аналогії з країнами, де дана форма реалізована окрім професійно-технічної сфери також у вищій освіті, при цьому маючи схожі соціально-культурні тенденції учнів у виборі освіти.

Тенденція до вибору академічного шляху здобуття освіти спостерігається також і у європейських країнах із давньою традицією учнівства, тобто дуального навчання. У своїй статті науковці [80] розглядають інноваційні зміни в дуальних системах учнівства Швейцарії та Німеччини на фоні академізації освіти. Однією із причин у Німеччині проникнення професійної освіти у вищу є Болонський процес, який охоплює програми навчання, в результаті чого більшість німецьких

університетів переглядають навчальні програми бакалаврату та магістратури, і кваліфікації, які ведуть до підвищення професійної кваліфікації.

Автори [80] відзначають, що у Німеччині та Швейцарії два різні шляхи розширення професійної освіти до рівня вищої. Відповідно у Швейцарії було вжито заходи із відкриттям доступу професійної освіти до вищої через оновлення та розміщення додаткових і професійних курсів на вищому рівні. У Німеччині розширення відбулося на рівні вищої освіти, у якій кооперативні університети та університети прикладних наук пропонують дуальні способи здобуття освіти.

Статистичні дані свідчать про схожість українських тенденцій в освітній сфері з зарубіжними країнами. Однак, якщо у випадку Швейцарії та Німеччини академізація професійної освіти відбувається на фоні її значного розвитку, де професійний сектор багато років був домінуючим кар'єрним вибором випускників, то в Україні ситуація протилежна. На фоні масовізації вищої освіти стала втрачатися її якість, і, як наслідок, зростає розрив між освітнім сектором та ринком праці. Стейкхолдери у країнах дуального навчання, такі, як організації роботодавців та профспілки, беруть активу участь на рівні із державою у формуванні профілю професії, навчальних програм, вимог кваліфікації, екзаменації випускників. Участь стейкхолдерів у цих країнах формує професійну освіту для потреб ринку.

На даному фоні професійна освіта в Україні потребує реформування на всіх рівнях. Ключовим у даній реформі є впровадження дуальної форми здобуття освіти. Інтеграція дуальної форми має реалізовуватися на професійному та вищому рівнях освіти. Наявність закладів I–II рівня акредитації в Україні свідчить про існування доступу з професійної освіти у вищу. В результаті німецький тип “модифікації” вищої освіти є актуальним і для України, що є першочергово важливим у сучасних реаліях. Вища освіта в Україні потребує зміцнення професійною складовою для відновлення зв'язку між освітою та економікою через упровадження дуальної форми на кваліфікаційних рівнях бакалавра та магістра.

Популярність професійної освіти у Швейцарії та Німеччині лежить у соціально-культурних особливостях даних країн. Організації роботодавців та профспілки протягом історії становлення професійної освіти у цих країнах активно брали участь у формуванні останньої. Можна стверджувати, що контент, наповнення та регулювання професійного сектора в даних країнах визначається роботодавцями та профспілками, держава виконує функцію арбітра між зацікавленими сторонами, забезпечуючи баланс інтересів.

До недоліків вітчизняної системи освіти у порівнянні з аналізованими країнами можна віднести відсутність сервісів кар'єрної орієнтації. Набір абітурієнтів у заклади освіти відбувається шляхом агітаційних зусиль самих закладів. У Німеччині кар'єрне консультування у школі є юридичним обов'язком [114] загальноосвітніх закладів. Також у Німеччині землі створюють професійні центри та онлайн сервіси професійного консультування. Ми відзначаємо, що професійна освіта та професійна орієнтація є обов'язковою частиною шкільної програми в усіх землях Німеччини.

Таким чином упровадження професійного консультування на етапі закінчення 9-11 класів в Україні закладе основи освітньої інтеграції у професійну сферу. Концепція здобуття освіти має бути переглянута завдяки впровадженню дуальної форми навчання. Знайомство з професією, пошук роботи має відбуватися не після закінчення навчального закладу, а з початком навчання. Концепція дуальної форми навчання в Україні має змінити сам підхід до здобуття освіти, відновлюючи зв'язок між освітніми та економічними секторами.

Підтвердженням позитивного ефекту професійного консультування є дослідження [140]. Результати дослідження свідчать, що надаючи адекватну, точну та послідовну інформацію, особистісне кар'єрне консультування особи допомагає зменшити труднощі учнів у вирішенні питань кар'єри [140].

Упровадження кар'єрної орієнтації у старших класах шкіл є одним із важливих елементів реформ освіти.

Основою дуального навчання є професійна освіта. Впровадження дуальної форми навчання потребує оновлення законодавчого забезпечення професійної

освіти. В Україні необхідними умовами ефективного функціонування дуальної освіти є оновлення Закону “Про професійну освіту”, оновлення професійних кваліфікацій, професійних навчальних програм. Ефективність професійної освіти залежить від багатьох факторів. Підґрунтя, яке закладає початок реалізації, регламент, інструкції та обов’язковість їх дотримання лежить у законодавчій площині. Якщо модель дуального навчання включає навчальний заклад та компанії як суб’єктів навчального процесу, то роль держави можна окреслити в організаційній структурі дуальної освіти. Дуальна освіта є інструментом макроекономічної політики держави, ефективне використання якого знижує рівень безробіття серед молоді. У додатку В відзначено особливості дуальної освіти в Угорщині, які полягають у наданні гарантії економічної палати із забезпечення сертифікатом учнівства за відсутності вакансій від підприємств. Варто також зазначити, що згідно зі швейцарським актом [88] рада федерації може вжити заходи на обмежений період і використати доступне фінансування для відновлення балансу на ринку учнівства.

В Україні діє Закон “Про вищу освіту” від 01.07.2014 №1556 – VII, згідно з розділом VI, статті 32, пункту 2, підпункту 2 заклади вищої освіти мають право самостійно визначати форми навчання та форми організації освітнього процесу. А також, відповідно до розділу IX, пункту 2 положення про організацію освітнього процесу затверджується вченою радою закладу вищої освіти відповідно до законодавства [30].

Таким чином, заклади вищої освіти автономні у визначенні форми освіти та організації й затвердження освітнього процесу. З цього випливає, що заклад вищої освіти може розробляти положення організації освітнього процесу наприклад, дуальної освіти. Необхідність такого положення випливає із розширення освітнього процесу за межі закладу освіти.

Міністерство освіти і науки України від 12 грудня 2019 року також затвердило Наказ №1551 Положення про дуальну форму здобуття професійної (професійно-технічної) освіти [32].

Крім затвердження Положення про дуальну форму освіти необхідно законодавчо окреслити вимоги до наставників, які будуть проводити навчання здобувачам освіти на підприємстві. Наставники у швейцарській системі навчання мають відповідати таким вимогам: мати федеральний дипломом VET або еквівалентну кваліфікацію в галузі проведення навчання; два роки практичного досвіду у відповідній галузі; володіти професійною педагогічною кваліфікацією, яка еквівалентна 100 навчальним годинам. Успішне проходження 40 – годинного курсу може бути заміною даній вимозі [88]. Німецька та Угорська система дуальної освіти також передбачає наявність необхідної технічної кваліфікації в інструкторів, які проводять навчання [94, 145].

Також необхідні законодавчо закріплені вимоги до належного оснащення робочого місця для навчання на підприємстві та контроль відповідних органів виконавчої влади за їх дотриманням.

Відзначаємо, що у Законі “Про професійну освіту” [36] в розділі IX статті 50 зазначається, що заклади професійної (професійно-технічної) освіти та особи, які здійснюють їх матеріальне та (або) фінансове забезпечення, користуються податковими, митними та іншими пільгами згідно із законодавством. Дані пункти свідчать про необхідність підтримки професійної (професійно-технічної освіти).

Практичне впровадження дуального навчання в Україні розпочалося з Наказу №298 Міністерства освіти і науки України від 16.03.2015 р. про проведення дослідно-експериментальної роботи за темою “Професійна підготовка кваліфікованих робітників з використанням елементів дуальної системи навчання” на базі закладів професійно-технічної освіти [11]. До труднощів експерименту учасники відносять, зокрема, відсутність навчально-методичної підготовки майстрів підприємства, які проводять навчання учнів, недостатню зацікавленість роботодавців у фінансуванні підготовки кваліфікованих робітників. Учасники експерименту рекомендують, зокрема, розробити й затвердити в законодавчому плані державні пільги для підприємств, які проводять навчання за дуальною системою [11].

Незважаючи на труднощі реалізації дуальної освіти, заклади вищої освіти впроваджують дуальну форму навчання [43, 27].

Отже, впровадження дуальної освіти в Україні повинно відбуватися з врахуванням соціально-культурних особливостей, беручи до уваги досвід країн із успішним функціонуванням такої системи. Зокрема, варто звернути увагу на пост-соціалістичні країни, а саме угорську систему дуальної освіти (див. додаток В). Даний аспект стосується стимулювання участі підприємств у дуальній системі освіти. Оскільки історично зародження дуальної освіти відбулося завдяки багаторічній культурі учнівства у країнах її виникнення, тобто адаптація дуальної системи має відбуватися з активним втручанням держави у підтримці прищеплення дуальної освіти до нових історичних умов її функціонування. Держава має відігравати роль гаранта в упровадженні дуальної системи в Україні. Від активності участі держави в упровадженні дуальної форми освіти залежить її прийняття суб'єктами.

Закордонні моделі дуальної освіти демонструють якщо не домінуючий, то значний вплив професійних організацій, профспілок на формування системи дуальної освіти та участь у ній. Згідно з німецьким законом “Про професійне навчання” [94] професії дуального навчання регулюються окремими компетентними органами - економічними палатами. До компетенції палат відноситься, зокрема, ведення реєстру контрактів та проведення фінальних іспитів. До складу екзаменаційних комісій у рівному співвідношенні мають входити представники професійних організацій і профспілок та щонайменше один представник від професійної школи. Загалом кількість членів комісії має складати не менше трьох осіб.

Згідно зі швейцарською постановою Ordinance on Vocational and Professional Education and Training [151], на відміну від німецької системи палат функції з реєстрацією навчальних контрактів та наглядом за дотримання прийнятності навчальних умов, виконує кантональна влада, яка також призначає екзаменаторів навчальної програми. Разом із значним державним регулюванням у швейцарській

системі дуальної освіти професійні організації беруть активну участь у розробленні програм дуального навчання.

Ключовим аспектом ефективного впровадження дуальної освіти в Україні є мотивація компаній проводити навчання. Серед вигод, які компанії отримують після впровадження дуальної освіти, ми виокремлюємо: виховання власних кадрів, зниження витрат на оплату праці (в перші роки учнівства), підвищення продуктивності компаній, зменшення витрат, пов'язаних із рекрутингом нових кадрів та адаптацією персоналу. Незважаючи на ряд переваг, які надає дуальне навчання, існують також витрати, які супроводжують навчання в компанії. До них можна віднести: виплати майстру-наставникові, оснащення навчального місця, витрати на матеріали.

Зважаючи на дані факти, суттєвим елементом, від якого залежить ефективність упровадження дуальної освіти, є субсидіювання компаній, що проводять навчання. Відповідно до швейцарського Vocational and Professional Education and Training Act (VPEТА) акту [88], професійні організації, які відповідальні за організацію професійного навчання, можуть створювати власні фонди, призначені для фінансування діяльності компаній, що проводять навчальні заходи у певній галузі. Утворення даних фондів може містити обов'язковий характер при виконанні певних умов. Таким чином, внески компаній до фонду залежать від їхньої участі в наданні професійного навчання.

Як наведено в додатку В, дуальна освіта в Угорщині також передбачає стимулювання компаній за допомогою субсидіювання. Враховуючи вищесказане, реформа освіти в Україні є проблемою, яка стосується не лише освітнього сектора, а й чинить значний вплив на економіку країни в цілому, рівень безробіття серед молоді, виведення з тіні працевлаштування під час навчання.

Для уможливлення прозорого субсидіювання необхідно створити реєстр підприємств, готових проводити навчання, реєстр укладених контрактів. У результаті адресне субсидіювання стане стимулом для готовності компаній проводити навчання.

Україна є одним із лідерів [45] упровадження технології блокчейн (англ. Blockchain, Block chain від block – блок, chain – ланцюг) – розподілена база даних, яка підтримує перелік записів, так званих блоків, що постійно зростає. База захищена від підробки та переробки. Кожен блок містить часову позначку та посилання на попередній блок хеш дерева. Зокрема в Україні діє перший онлайн-аукціон у світі SETAM, який використовує інноваційну криптографічну технологію блокчейн.

13 квітня 2017 року Державне агентство з питань електронного урядування України підписало меморандум про співпрацю та взаємодію із Bitfury Group, найбільшою у світі технологічною компанією Blockchain, щоб створити першу повномасштабну програму Blockchain електронного урядування для України [167].

Упровадження прозорих та захищених урядових реєстрів є задекларованою ціллю на державному рівні. Впровадження реєстрів на технології блокчейн допоможе уникнути корупційних зловживань та стане інноваційною основою для побудови ефективної співпраці зацікавлених сторін, зокрема у дуальному навчанні.

Особливостями середовища впровадження дуальної освіти в Україні є: соціально-економічне підґрунтя активної трудової діяльності молоді; значна масовізація вищої освіти; низька частка сектора професійно-технічної освіти.

У результаті пріоритетними напрямками та заходами реалізації в рамках концепції дуальної освіти в Україні ми вважаємо:

- першочергове впровадження дуальної освіти у закладах вищої освіти;
- створення профорієнтаційних центрів;
- перегляд та оновлення професійних програм та кваліфікацій;
- залучення професійних спілок та організацій до процесів створення програм професійного навчання та обов'язкової присутності в екзаменаційних комісіях;
- створення механізму матеріального заохочення компаній до участі в професійному навчанні;

- запровадження реєстрів підприємств та контрактів на інноваційній технології блокчейн.

У наступному пункті проаналізуємо інформаційні процеси в дуальній освіті та інформаційні технології їх інтеграції.

1.2.1. Інформаційні процеси у дуальній освіті та їх комп'ютерна реалізація

Початок імплементації дуальної форми на законодавчому рівні відбувся із прийняттям Закону України “Про освіту” від 05.09.2017 № 2145-VIII [35]. Форми освіти, відповідно до статті 9 даного закону, показано на рис. 1.4.

У Законі наводиться таке визначення дуальної форми освіти: дуальна форма здобуття освіти – це спосіб здобуття освіти, що передбачає поєднання навчання осіб у закладах освіти (в інших суб'єктів освітньої діяльності) з навчанням на робочих місцях на підприємствах, в установах та організаціях для набуття певної кваліфікації, як правило, на основі договору.

Аналізуючи Закон, можна виділити такі поняття як “спосіб здобуття освіти”, “спосіб організації навчання”, “процес здобуття освіти”.

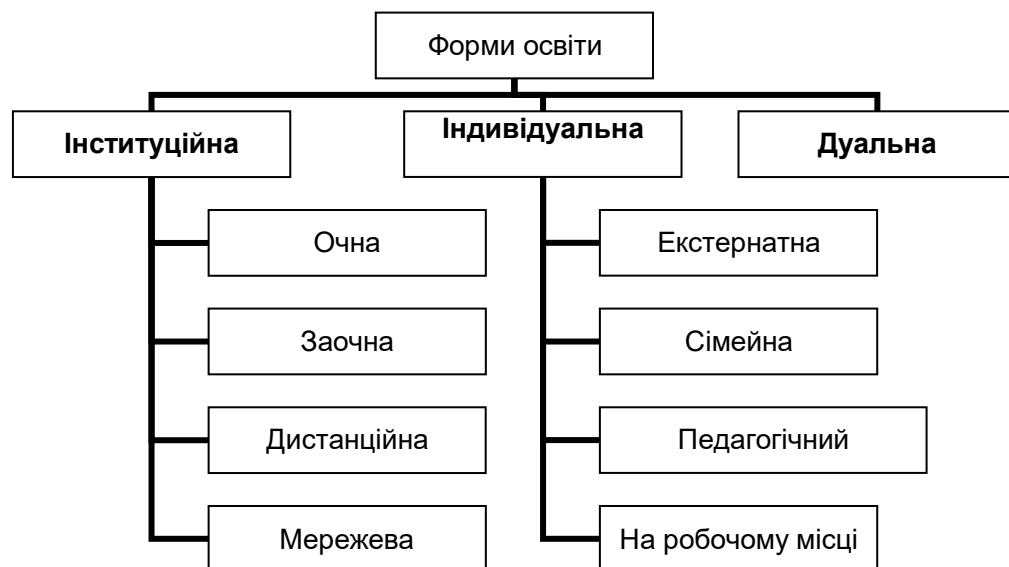


Рисунок 1.4 – Форми освіти в Україні * Джерело [35]

Визначення останнього поняття у Законі характеризує дистанційну освіту. Поняття “спосіб організації навчання” можна також трактувати стосовно до дуальної форми здобуття освіти, в контексті оволодіння знаннями у різних

суб'єктів освітнього процесу, таких, як навчання в закладі освіти та у компанії. Очевидно, що це поняття відповідає також і такому критерію визначення.

Дистанційна форма в даному контексті може бути під процесом дуальної при використанні інформаційно-технологічних засобів для досягнення ефекту від інтеграції двох локацій навчання та підвищення продуктивності. Мережева форма освіти можлива в дуальній системі при альянсі підприємств для підготовки фахівців.

Із наведеного випливає, що дуальній формі освіти притаманні характеристики інституційної освіти, проте це лише один аспект даної форми. Очевидно, що дуальна форма здобуття освіти належить до категорії, яка охоплює інституційну та практичну освіту в суб'єктів ринкових відносин, професійних центрах, державних установах. У даному випадку організації виступають згідно з затвердженою концепцією рівноправною стороною в освітньому процесі. Таким чином вид дуальної освіти передбачає об'єднання суб'єктів із двох окремих навчальних підсистем.

Проаналізуємо поняття “форма здобуття освіти”, з якого походить поняття “спосіб організації навчання”. Дуальна форма здобуття освіти у своєму визначенні в Законі подається як поєднання навчання особи у закладах освіти та на робочих місцях. Необхідно наголосити, що ефект від поєднання двох локацій навчання виникає лише в тому випадку, коли досягається синергетичний зв'язок між ними. Отже, розмежуємо поняття дуального навчання (рис.1.5).

Із наведеної вище структури форма навчання є поняттям структурної організації місць навчання та інформаційних процесів. Педагогічна модель дуального навчання є моделлю, призначення якої полягає у засвоєнні інтегрованих знань із двох різних локацій.

Принциповим у даному понятті є організація інформаційних процесів навчання таким чином, щоб оволодіння професією відбувалося в єдиному інформаційному просторі, незважаючи на різні місця навчання.

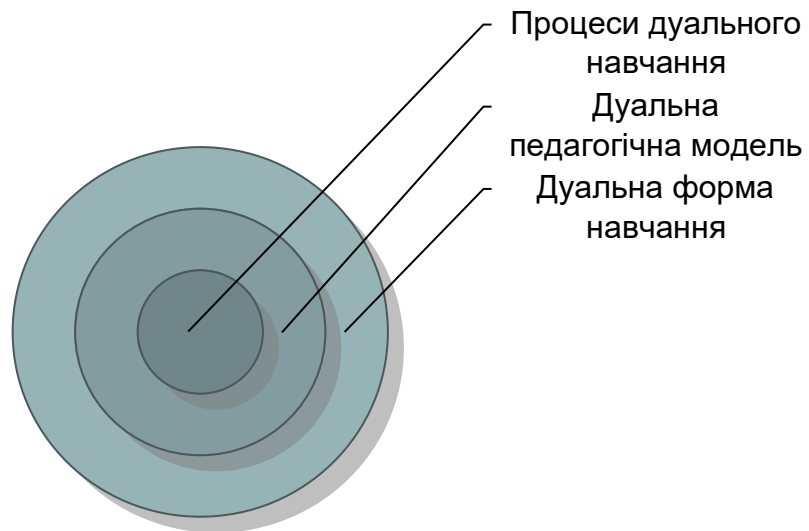


Рисунок 1.5 – Структура дуального навчання

У випадку відсутності або неефективного функціонування моделі дуального навчання дуальна форма навчання залишиться лише одночасним поєднанням двох організаційних форм – інституційної та практичної.

Сформулюємо визначення інформаційної моделі дуального навчання. Інформаційна модель дуального навчання є сукупністю процесів навчання, що об'єднують теорію і практику в різних інституційних об'єктах, установах, організаціях, досягаючи синергетичного ефекту в єдиному інформаційному просторі, ефективність якої залежить від інформаційної технології, що використовується в її основі.

Засоби досягнення єдиного інформаційного простору лежать, зокрема, і у технологічній площині та включають як технологічні, так і програмні засоби.

Процеси дуального навчання можна поділити на процеси навчання, які відбуваються в навчальному закладі та на робочому місці у компанії. Ключовим моментом, який забезпечує ефективність їх функціонування, є зворотний зв'язок у кожній підсистемі та між процесами у різних підсистемах (навчальному закладі та компанії).

Слід зазначити, що процес навчання в освітньому закладі відрізняється в рамках дуального навчання від такого, що відбувається в інших формах освіти. Єдине інформаційне середовище вимагає інтеграції знань, умінь, навиків із різних

локацій навчання в навчальному закладі та на робочому місці. Формування комплексного профілю професії з уміннями виконувати завдання різного рівня складності та на різних рівнях відповідальності є завданням дуальної освіти. Таким чином освітній процес у навчальному закладі має включати аналіз робочих ситуацій, які мали місце під час навчання у компанії, моделювання ситуацій на різних рівнях із включенням різних процесів, у яких задіяний учень на робочому місці.

Даному типу навчання відповідає концепція навчання автора, який у своїй статті [14] пропонує концепцію інтердіяльнісного навчання (рис. 1.6).

Науковець характеризує термін «інтердіяльнісного навчання» як такий, що походить від англійського прийменника “inter”, що означає “серед” та терміна “діяльність”.

Тобто інтердіяльнісне навчання – це навчання у середовищі тієї діяльності, яку потрібно зрозуміти й опанувати. Інтердіяльнісне навчання – це вивчення діяльності через занурення в цю діяльність.

Адекватні методи для інтердіяльнісного навчання надають інтерактивні педагогічні технології. Автор зазначає, що поняття «інтердіяльнісне навчання» доцільно ввести для професійної освіти, провідною метою якої є оволодіння фаховою діяльністю [14]. Застосування технології інтердіяльнісного навчання у навчальному процесі освітнього закладу є необхідним зворотним зв'язком між двома підсистемами навчання на робочому місці та у закладі освіти. Зворотний зв'язок між освітніми середовищами завдяки впровадженню даної технології є двостороннім, оскільки служить сполучною ланкою між двома сферами навчання. Такий зв'язок дозволяє аналізувати робочі ситуації в закладі освіти та впроваджувати засвоєний матеріал на робочому місці.

Процеси навчання на робочому місці передбачають безпосередню участь студента при виконанні службових обов'язків. Особливість такого навчання вимагає від студента вмінь застосовувати отримані знання в навчальному закладі, на практиці.



Рисунок 1.6 – Обсяг поняття інтердіяльнісного навчання.*Джерело [14]

Характерними рисами формування таких умінь є те, що їх застосування можливе лише через виконання роботи під керівництвом наставника. Таким чином, навчання через практику є певною мірою процесом самоорганізованим через виконання роботи з використання таких методів, як процес прийняття рішення циклу Демінга (Plan, Do, Check, Act – PDCA).

Вважаємо суттєвим, що навчання через практику є первинним та ключовим процесом у моделі дуального навчання відповідно до діяльнісного підходу, засновниками якого є Рубінштейн С. Л. [38] та Леонтьєв О. М. [17], та процесу інтеріоризації – руху від зовнішнього до внутрішніх процесів психіки. Із практично-навчальної діяльності на робочому місці навчальні процеси переходять у процеси навчання в освітньому закладі.

Певною мірою практичний процес навчання є самоорганізованим, оскільки під час навчання студент має самостійно виділити закономірності, “правила”, “найкоротший шлях” ефективного виконання роботи, аналізуючи власні дії та інструкції, приклади виконання роботи майстром.

Послідовність інформаційних процесів дуального навчання інформаційної моделі дуального навчання наведено на рис. 1.7.

Під час навчання на робочому місці у студента закладаються основи оволодіння базовими процесами майбутньої професії.

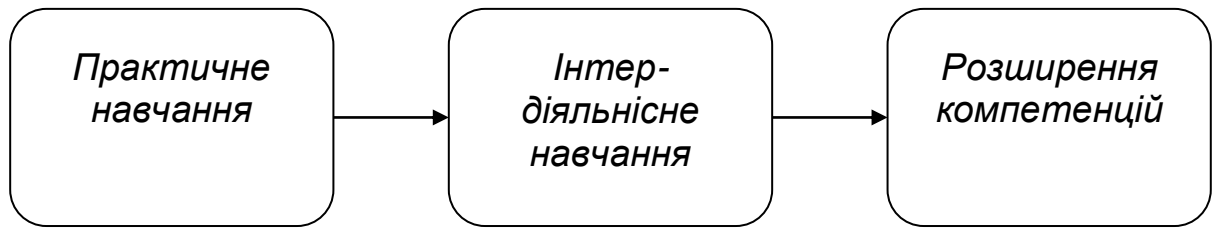


Рисунок 1.7

– Послідовність інформаційних процесів дуального навчання

Навчання в освітньому закладі інтегрує знання та уміння, здобуті в компанії, що реалізується за допомогою педагогічної технології інтердіяльнісного навчання. Інтеграція відбувається шляхом отримання під час навчання в компанії знань, що формують образ професії у свідомості учня та дають базові уміння роботи, які в подальшому під час занять у закладі освіти опрацьовуються в навчальному колективі з іншими студентами та викладачем. Участь у інтердіяльнісному навчанні занурює студента у сферу його професії через моделювання різних ситуацій. Моделювання охоплює ситуації, в яких студент брав участь на практиці, для пошуку оптимального вирішення завдання або підвищення ефективності роботи, так і моделювання нових ситуацій із розширенням компетенцій на вищій рівні відповідальності. В результаті досягається взаємопроникнення різних середовищ навчання, від ефективності якого залежить розширення компетенцій та формування комплексного профілю освіти.

Навчання на робочому місці ознайомлює студентів із професією на практиці, таким чином усувається один із недоліків, притаманний теоретичним лекціям технічних спеціальностей, даючи студентам можливість вникнути в специфіку роботи безпосередньо беручи участь у ній. Тому в моделі дуального навчання крім подання теоретичного матеріалу, в навчальному закладі необхідно розв'язувати, моделювати проблемні ситуації для покращення продуктивності, застосування яких буде відбуватися на робочому місці.

Відокремленість локацій навчання закладу освіти та робочого місця в компанії зумовлює використання інформаційних технологій навчання для

підтримання узгодженості, інформованості, взаємопроникності середовищ та їх процесів. Дана технологія має забезпечувати стійкий зворотний зв'язок між підсистемами.

Технологію, що може забезпечити зворотний зв'язок між учасниками навчального процесу, можна описати на прикладі Wikispaces відкритого програмного середовища, що дозволяє ділитися відео, ідеями, навчальними матеріалами, інструкціями, оголошеннями, посиланнями та ін. У середовищі існує 5 типів користувачів (зареєстрований адміністратор, експерт, інструктор, учень та незареєстровані відвідувачі) з різними привілеями доступу. Дії, які можуть виконувати учні: створення нових сторінок у Wiki, редагування створених сторінок, написання коментарів до сторінок, видалення створених користувачем сторінок, надсилання повідомлення іншим учасникам групи, перейменування сторінки, перегляд усієї публічної інформації [54].

Особливістю платформи Wikispaces є наявність прав редагування та створення контенту як учнями, так і інструкторами у спільному програмному середовищі. До ще однієї особливості можна віднести можливість перегляду викладачем активності учнів та їх роботу над матеріалом чи проектом, при цьому коментуючи процес роботи учня.

Автор [164] наголошує на корисності програмного середовища Wikispaces як інструмента співпраці між студентами при роботі над спільним проектом у навчальному закладі та між студентом і викладачем. Питання співпраці є важливим з огляду на можливість обміну досвідом та знаннями між студентами із різними навчальними успіхами та різними робочими середовищами навчання. Результатом такої взаємодії є інформованість викладача про характер роботи, яку виконує студент на робочому місці в компанії. Викладач, будучи інформованим, має змогу адаптувати навчальні завдання до вимог роботи. Контроль викладача за онлайн навчанням стимулює учнів до активнішого залучення в навчальний процес.

Спеціалізованою платформою, створеною для інтеграції навчання в дуальній системі освіти, є програмне вирішення Realto [73], [165]. Дана платформа працює

за принципами педагогічної моделі Ерфаграум [159]. У користувачів викладача, інструктора та студента є особисті кабінети, через які вони взаємодіють між собою через блог, який веде студент, описуючи роботу, яку він виконує на робочому місці. У студента є можливість прикріплювати до записів блогу мультимедійні матеріали, ілюструючи процес навчання. В свою чергу викладач та інструктор може переглядати й коментувати прогрес студента, допомагаючи йому в навчанні. Технологія Realto інтегрує досвід студентів із різних контекстів навчання через фіксування діяльності на роботі за допомогою гаджетів. Важливість даної технології полягає в інтеграції знань та подальшій рефлексії набутого досвіду з робочого середовища у навчальне.

До ще одного важливого рішення в сфері інтеграції ринкового з навчальним середовищем можна віднести фінський проект InnoOmnia. У ньому увага зосереджена не тільки на розвитку професійних і технічних навиків, але й на навиках вирішення проблем, командній грі та міжперсональній співпраці. Зокрема запроваджено бізнес-гру LOL (the acronym of the game's Finnish name, *Lievdsti Outoa Liiketoimintaa*), суть якої полягає у взаємодії в реальному часі між підприємцями та студентами. Підприємці представляють студентам бізнес-виклики, які їм необхідно подолати. Студенти, в свою чергу пропонують вирішення даних проблем [168].

Науковці [142] у своїй роботі досліджують підтримку WPOC (Work-process-oriented Curriculum) професійного навчання за допомогою навчальної платформи змішаної реальності [142].

Ще однією платформою для взаємодії зацікавлених сторін у дуальній системі освіти є програмне вирішення VLoK [129] – електронний щоденник навчання. Студент у системі VLoK занотовує завдання, виконані на робочому місці відповідно до програми навчання на підприємстві. Викладач та інструктор мають доступ до електронного щоденника через свої особисті кабінети. Таким чином викладач та інструктор можуть відстежувати прогрес учня, контролюючи його навчання через віртуальний щоденник.

Варто зазначити, що крім наведених технологій в закордонному досвіді дуальної освіти навчальні заклади використовують інформаційні системи керування навчанням такі як Atutor, Moodle.

Описані програмні вирішення мають як переваги так, і недоліки їх використання. Варто зауважити, що програмне середовище в дуальній формі навчання не має обмежуватися тільки використанням електронного щоденника. Зважаючи на значну частину навчання студента в компанії, підприємство має мати більше інструментів контролю за навчанням студента. Важливим аспектом навчання для компанії в системі дуальної освіти є його вартість. Таким чином, підприємство має мати в своєму розпорядженні динамічні програмні інструменти його розрахунку залежно від результатів навчання, роботи студента. Ще одним важливим аспектом є надання програмного інструмента оцінювання навчання з боку підприємства, інструмента рейтингування вступу абітурієнта на дуальну форму освіти. Крім цього, необхідні засоби інтеграції навчання на підприємстві з навчанням у навчальному закладі, беручи до уваги її академічну складову. Отже, наявні програмні вирішення не забезпечують у повному обсязі потреб підприємства в системі дуального навчання, тому є необхідність їх розроблення та впровадження.

Особливості дуального навчання потребують розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень для інтеграції інформаційних процесів в основі програмного середовища, яке здатне об'єднати розрізнені процеси навчання для досягнення синергетичного ефекту.

1.3. Аналіз моделей та методів підтримки прийняття рішень

Проаналізуємо засоби нечітких множин у моделях підтримки прийняття рішення, оскільки переваги нечіткої логіки є очевидними у формалізації складноформалізованих задач із використанням людських суджень, міркувань експертів. У науковому дискурсі є приклади використання нечітких множин для оцінювання компетенцій працівників компанії. У [71, 97, 112, 120, 122] моделі та інструменти нечіткої логіки використовуються для оцінювання компетенцій та

ефективності працівників, студентів і добору персоналу. У роботі [56] представлено метод оцінювання інформації та аналітичного підтримання стратегічного менеджменту із використанням нечіткої логіки. Особливістю запропонованого методу є можливість зведення багатокритеріального аналізу альтернатив до одного критерію, забезпечення можливості нечіткої репрезентації індикаторів та зв'язків між ними, які представляють різну природу взаємозалежностей.

Нечітка логіка є інструментом моделей нечіткого виведення до недоліків яких можна віднести необхідність формування бази знань та навчання системи. Проте інструменти нечіткої логіки (лінгвістичні змінні, нечіткі числа) є необхідною складовою в оцінюванні якісних показників на основі суджень експертів. Інструменти нечіткої логіки використовують також у комбінації з багатокритеріальними методами аналізу. Методи багатокритеріального аналізу як складові дослідження операцій є важливим компонентом комп'ютерних наук. Проаналізуємо використання методів багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішення у сфері управління людськими ресурсами.

У дослідженні [115] розглянуто удосконалення методу багатокритеріального аналізу TODIM для вибору персоналу. У роботі зроблено акцент на точності вимірювань відстані між нечіткими числами.

У роботі [55] розглянуто застосування модифікованого методу багатокритеріального аналізу MOORA для задачі багатокритеріального аналізу. У дослідженні судження експертів застосовані опосередковано тільки через вагові критерії. Ідеальне вирішення знаходиться через ділення суми корисних критеріїв на некорисні, тобто результати застосування методу залежать від величини некорисних критеріїв. У роботі продемонстровано кількісне оцінювання альтернатив критеріїв без використання апарату нечітких множин, модель однорівнева.

У роботі [75] досліджено задачу багатокритеріального вибору методу Data Envelopment Analysis (DEA). Його перевагою є визначення ефективності через порівняння вхідних показників із вихідними з можливістю простеження впливу

входів на виходи моделі. Недоліком методу є оцінювання кількісних показників та складність формалізації якісних даних.

У дослідженні [157] використано модифікацію методу TOPSIS, яка полягає у визначенні важливості підкритеріїв за допомогою fuzzy-AHP. Метод застосовується для відбору кандидатів у ІТ компанію.

У роботі [178] застосовано новий метод багатокритеріального аналізу CODAS (Combinative Distance-based Assessment). Недоліком його є визначені відстані лише від ідеально негативного значення.

У дослідженні [126] розглянуто розв'язання проблеми кар'єрного планування та підбору персоналу, використовуючи метод інтуїціоністського нечіткого аналітичного ієрархічного процесу IF-AHP (Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process). У дослідженні ранжування проводиться за допомогою вагових критеріїв, даний метод не використовує відстані від ідеального негативного та позитивного вирішення. Автори дослідження використовують інструмент інвентаризації особистості (характеристики людини), альтернативи визначаються за особистою інвентаризацією. Акцент дослідження робиться на ефективнішому вирішенні невизначеності, ніж у нечітких множинах.

Проаналізовані ситуації застосування теорії нечітких множин для оцінювання компетенцій працівників (чи кандидатів на посаду) підприємства свідчать про складність та комплексність оцінювання таких категорій, як компетенції працівника. Комплексність полягає в необхідності дезагрегації показника інтегрального оцінювання. Залежно від сфери застосування оцінювання або типу підприємства, відділу, професії мети оцінювання слід використовувати характерні критерії та показники оцінювання. Моделі нечіткого виведення мають свої недоліки, зокрема формування бази знань, громіздка ієрархізація рівнів оцінювання. Для розв'язання задач УЛР доцільно використовувати переваги апарату нечіткої логіки у комбінації з методами багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень.

Методи багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень як зазначалось використовують у комбінації з різними типами нечітких множин, які є важливим засобом позначення якісної інформації в теорії комп'ютерних наук.

Залежно від їх характеристик існують зокрема такі види нечітких множин:

- Інтуїціоністські нечіткі множини визначають ступінь належності та ступінь неналежності елемента множині [60].

- Type -2 Fuzzy sets, які включають невизначеність функції належності в їх визначення [143].

- Nonstationary fuzzy sets представляють набір множин, функція належності яких змінюється з часом за допомогою певного зв'язку між функціями належності набору [93].

- Hesitant fuzzy sets визначають набір значень у процесі визначення функції належності [166].

- Розширення Intuitionistic fuzzy sets, Fermatean fuzzy sets [160] та Pythagorean fuzzy set [177], коли сума ступеня належності та ступеня неналежності елемента більше 1.

- Neutrosophic Set де функція належності включає ступінь належності, невизначеності та неналежності елемента, при цьому їх сума може бути більше 1 [162].

Таким чином нечіткі множини та методи багатокритеріального аналізу є ефективними інструментами розробки моделей підтримки прийняття рішень.

1.4. Постановка наукового завдання, мети та задач дисертаційного дослідження

Беручи до уваги особливості інформаційних процесів у дуальній освіті, а саме їх формування в різних підсистемах навчального закладу та компанії, ефективність реалізації яких залежить від ступеня інтеграції інформаційних процесів різних підсистем, а також інформаційної технології їх автоматизації, необхідність розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень є актуальним завданням.

Підсумовуючи проведений аналіз дисертаційним завданням є:

1. Розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень стейкхолдерів дуальної освіти:
 - модель оцінювання результатів навчання студента в компанії з урахуванням академічної складової навчання;
 - модель оптимізації вартості навчання в системі дуальної освіти з урахуванням академічної складової навчання;
 - модель підтримки прийняття рішень обрання студентом дисциплін за вибором освітньої програми спеціальності;
 - модель підтримки прийняття рішення вступу абітурієнта на дуальну форму навчання.
2. Розроблення моделі інформаційних процесів концептуальних компонентів дуальної форми освіти за допомогою UML засобів.
3. Реалізація прототипу веб-порталу, базуючись на інформаційній моделі дуального навчання, який буде інтегрувати зацікавлені сторони в дуальній системі та на основі розроблених моделей і методів підтримки прийняття рішень удосконалить інформаційні процеси дуальної освіти.

Висновки до першого розділу

Дослідження у даному розділі опубліковані у працях [18], [22], [131].

1. У розділі проаналізовано поняття інформаційних процесів та інформаційної технології в науковому дискурсі. Запропоновано визначення інформаційного процесу та інформаційної технології дуальної форми освіти з урахуванням аналізу поняття як самої дуальної форми освіти, так і інформаційних процесів та технологій як таких. Визначення сформовано, беручи до уваги попередній аналіз понять, їх повноту, наведену науковцями.

2. Проаналізовано передумови впровадження дуальної освіти в Україні. Здійснено аналіз поняття дуальної форми освіти з точки зору вітчизняних науковців, Закону України та країн її зародження (Німеччини, Австрії,

Швейцарії). Дано авторське визначення дуальної форми освіти з урахуванням інформаційної технології як невід’ємної частини даної форми навчання.

Проаналізовано досвід функціонування дуальної освіти закордоном у країнах із її давньою традицією – Німеччині, Австрії, Швейцарії (див. додаток В). Розглянуто досвід дуальної форми освіти в Угорщині, країні, яка нещодавно (у 2010 р.) (див. додаток В) упровадила дану форму навчання. Окреслено концепцію дуальної форми освіти в Україні з орієнтацією на першочергове впровадження даної форми навчання у закладах вищої освіти. Визначено поняття моделі дуальної форми освіти з обов’язковими компонентами “єдиного інформаційного простору” та “інформаційної технології”.

3. Проаналізовано інформаційні процеси предметної області дуальної освіти. Проаналізовано наявні інформаційні технології для дуальної форми освіти, визначено інформаційні процеси, потрібні для ефективного функціонування дуальної форми освіти. Здійснено аналіз моделей та методів підтримки прийняття рішень. Визначено наукового завдання, мету та задачі дисертаційного дослідження

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТУДЕНТА В ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСАХ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ

У розділі окреслено інформаційні процеси дуальної освіти з виділенням процесів підсистем (компанії та навчального закладу). Формалізовано компоненти навчального плану в дуальній системі освіти. Розроблено метод оцінювання навчання студента в дуальній системі освіти на основі методу багатокритеріального аналізу TOPSIS. Розроблено формулу коригування невідповідності підсистем ранжування спільній системі в методі оцінювання навчання студента. Розроблено метод визначення суб'єктивності призначених оцінок експертами на основі нечітких інтуїціоністських множин, коригування нечітких трапецієподібних оцінювань даним методом.

2.1. Формалізація компонентів навчального плану дуальної форми навчання

Коректна формалізація навчального плану забезпечить інтеграцію та співпрацю стейкхолдерів в дуальній освіті. Дослідження в області співпраці зацікавлених сторін у дуальному навчанні проводив автор [95], в якому, зокрема, зазначає про слабкий зв'язок компаній та професійних шкіл на мезорівні (інституційному рівні та рівні діючих осіб). Слабкий зв'язок є наслідком домінуючого становища компанії та підпорядковуючим функціонуванням професійних шкіл [95]. Науковці [65] вимірюють ефективність професійної освіти через зв'язок між дійовими особами в освіті та зайнятості у кожному підпроцесі взаємодії. У дослідженні найвищий зв'язок спостерігається у країнах з дуальною формою освіти. До найважливіших процесів взаємодії зацікавлених сторін автори відносять: участь роботодавців у визначенні кваліфікаційних стандартів; участь роботодавців у визначенні термінів оновлення навчальних програм; поєднання навчання на робочому місці з навчанням у класі. У роботі автори досліджують професійне навчання на рівні вищої середньої світи, ігноруючи програми на рівні вищої освіти [65]. Співпраця між компанією та роботодавцем на усіх рівнях взаємодії є визначальною в забезпеченні високого

рівня якості та ефективності дуального навчання. Потреба формалізації навчального плану дуальної освіти є необхідним компонентом, що забезпечить інтеграцію зацікавлених сторін процесу навчання. Необхідність розроблення навчального плану дуальної форми навчання на рівні вищої освіти є актуальним для України як країни з відсутністю досвіду впровадження даної форми, так і покращення функціонування дуальної освіти як такої.

Необхідність формалізації навчального плану для дуального навчання зумовлена відмінністю його від інших форм навчання. Розрізняють такі системи організації та адміністрування професійним навчанням у різних країнах:

- ринкова модель;
- модель державного контролю;
- модель кооперації (країни дуальної освіти) [124].

До особливостей дуальної форми навчання ми відносимо:

- значну частину навчального процесу, що відбувається в компанії;
- навчання студента у двох і більше локаціях;
- участь роботодавця в процесі оцінювання;
- студент одночасно є учнем та працівником;
- взаємопов'язаність навчання двох локацій.

Окреслимо межі предметної області інформаційних процесів дуальної освіти з урахуванням проведеного аналізу в першому розділі для розуміння формалізації елементів навчального плану. Предметна область дуальної системи освіти з проведеного аналізу обмежується освітньою системою навчального закладу, навчальним процесом у закладі освіти, системою компанії та навчальним процесом у ній, процесом виконання посадових обов'язків. Таким чином, можемо виділити компанію та навчальний заклад як дві підсистеми дуальної освіти. Відповідно стейкхолдерами в дуальній системі освіти є:

- Держава (опосередкована навчальними закладами).
- Професійні спілки.
- Асоціації роботодавців.
- Компанія.

- Студент.

Професійні спілки в дуальній освіті слідкують за рівнем оплати праці працівників-студентів у компаніях, умовами та режимом праці. Асоціації роботодавців визначають контент навчання в компаніях.

Інформаційні процеси в дуальній формі освіти визначають логічні зв'язки між стейкхолдерами системи, які, в свою чергу, визначають зворотні зв'язки між інформаційними процесами у підсистемах. Тобто реалізація освітнього процесу в дуальній системі відбувається у двох підсистемах – компанії та навчальному закладі. В свою чергу, компанія та навчальний заклад організовують інформаційні процеси таким чином, щоб їх зворотні зв'язки забезпечували максимальний ефект від взаємодії.

Представимо інформаційні процеси в дуальній освіті виразом $I_d = (I_c, I_e, f(I_c \cap I_e))$, де I_d – інтегрований інформаційний процес d – дуальної освіти, I_c – інформаційний процес c – компанії; I_e – інформаційний процес e – навчального закладу; f – деяка функція розширення перетину інформаційних процесів. Таким чином, максимальний ефект від взаємодії стейкхолдерів компанії та навчального закладу досягається при наближенні значення ступеня перетину до 1 в інтервалі $[0-1]$. Процес розширення перетину інформаційних процесів досягається за наявності та правильного налагодженні зворотних зв'язків між інформаційними процесами дуальної освіти: інформаційний процес навчання в навчальному закладі <зворотний зв'язок>компанія, інформаційний процес навчання в компанії <зворотний зв'язок> навчальний заклад. Відповідно інтегрований інформаційний процес дуальної освіти представимо $IG_d = (\sum I_c, \sum I_e, \sum f_n(I_c \cap I_e))$ як суму окремих інформаційних процесів навчання в компанії та закладі освіти, суми усіх перетинів інформаційних процесів у компанії та закладі освіти.

Необхідність ефективної інтеграції навчання у закладі освіти та робочому середовищі, реконтекстуалізації здобутого досвіду зумовлює розвиток та впровадження різноманітних технологій.

Варто зазначити, що у Німеччині (країні з давньою традицією дуальної форми навчання) професійні школи в системі дуальної освіти використовують навчальні плани з концептуальними областями навчання, які є компетентнісно орієнтованими [96].

Завдання впровадження технологій та методик підвищення співпраці суб'єктів навчання в системі дуальної освіти є пріоритетним як на стадії впровадження дуального навчання, так і розвитку наявних технологій, зокрема і педагогічних.

Формалізація моделі навчального плану є структурною складовою реалізації інформаційної технології дуальної форми навчання. Постановка задачі потребує вирішення наступних завдань:

- визначення структурних одиниць процесу навчання у компанії та навчальному закладі;
- визначення зв'язку між елементами процесу навчання різних локацій;
- інтеграційне представлення елементів процесу навчання;
- задавання цільової функції;
- визначення обмежень оптимізаційної задачі.

Відповідно до професійної освіти в системі дуального навчання у Німеччині компанії керуються навчальними правилами, школи – рамковими начальними планами. В німецькій системі не існує нормативного закону, який би включав інтеграційний план навчання [96]. В Україні згідно з законодавством у сфері вищої освіти навчальні заклади відповідальні за форму організації освітнього процесу. Також згідно з останніми законодавчими нововведеннями навчання в компанії та закладі освіти в рамках дуальної форми навчання регулюється через складання індивідуального навчального плану.

Професійні та загальні компетенції є інтеграційними структурними компонентами, що об'єднують навчання у двох локаціях та відображають

досягнення бажаного об'єму професійних знань і навиків. Для формалізації відношень у структурі навчального плану дуальної форми навчання необхідно визначити елементи навчального процесу індивідуального плану навчання у компанії.

Представимо індивідуальний план навчання як множину компетенцій освітньої програми спеціальності, використовуюючи підхід, запропонований у роботі [52]:

$$I = \{K_1, \dots, K_k, \dots, K_l\}, \quad k = \overline{1, l} \quad (2.1)$$

де I – навчальний план в компанії та університеті;

K_k – компетенції навчального плану;

l – кількість компетенцій, які містить навчальний план.

Дуальна система навчання, як зазначалося вище, в своїй основі містить значну частину практичного навчання. Таким чином, центральним елементом навчального плану дуальної форми освіти є компетенції як результат та ціль навчання. Перелік компетенцій затверджений у стандарті вищої освіти та освітній програмі спеціальності. Модель індивідуального навчального плану у вищому навчальному закладі, на нашу думку, має передбачати певну кількість компетенцій, які компанія добирає відповідно до власних вимог підготовки майбутніх працівників.

Структурне відношення компетенцій, дисциплін можна представити у вигляді ієрархічного графа. Вершиною графа є індивідуальний навчальний план I . Першим рівнем ієрархічної структури будуть професійні компетенції K_k , які містять набір комплексних завдань Z_{kj} для досягнення відповідних компетенцій. Комплексні завдання становлять третій ієрархічний рівень, об'єднуючи дисципліни закладу вищої освіти, які знаходяться на четвертому ієрархічному рівні D_d .

Таким чином, комплексне завдання є елементом, який може відноситися до одного або кількох предметів, що вивчаються у навчальному закладі. Комплексне завдання формується викладачем спільно з компанією на основі функцій та

посадових обов'язків студента на підприємстві для досягнення цілей та вирішення робочих проблем. Сформоване завдання є інтеграційним елементом, який об'єднує знання, що викладаються у закладі освіти з їх подальшою адаптацією до потреб та вимог робочого середовища.

Отже, структуру індивідуального навчального плану можна представити у вигляді елементів семантичної мережі

$$I = \langle K_k, Z_{kdj}, D_d(S_1, S_2, \dots, S_r \dots S_u), V \rangle, \quad S_r, r = \overline{1, u} \quad (2.2)$$

де S_n – зв'язки між різними елементами семантичної мережі комплексних завдань Z_{kdj} , – j -те завдання компетенцій K_k і дисципліни D_d освітньої програми спеціальності; V – відображення, що визначає зв'язки із визначеної (S_1, S_2, \dots, S_u) множини.

Процес виконання комплексних завдань може відбуватися паралельно та послідовно залежно від зв'язку між черговістю вивчення навчальних дисциплін у програмі спеціальності. Особливістю дуальної системи освіти у вищій школі, на нашу думку, має бути збереження академічної складової як визначального чинника. Проте орієнтація навчальної програми має бути зосереджена на результатах навчання (відповідно до німецької реформи). Особливістю розроблення навчального плану дуальної форми освіти в Україні є відсутність тривалого досвіду функціонування даної форми навчання. Зважаючи на даний факт, навчальний план має відповідати властивостям динамічності та адаптації, коригування.

Формування індивідуального навчального плану навчання студента на роботі робить можливим його адаптивне розроблення компанією та навчальним закладом.

Заклади вищої освіти України використовують Європейську кредитно-трансферну накопичувальну систему засвоєння освітньої програми. Беручи до уваги даний факт, виникає необхідність розроблення навчального плану з урахуванням рамок системи для дуальної форми навчання.

Дуальна форма навчання є новою формою освіти в Україні. В структурі навчання практична частина (навчання на роботі) за дуальною формою навчання займає, згідно з останніми законодавчими змінами інтервал в обсязі від 25% до 60% освітньої програми. Зважаючи на новизну дуальної форми навчання для нашої країни, регламентація навчального процесу повною мірою не розроблена.

Враховуючи, що близько половини навчального часу студент проводить у компанії, виникає завдання формалізації навчання та роботи його поза межами навчального закладу. Визначення структурних одиниць навчання та види навчання у компанії є важливою частиною складання навчального плану.

Навчання більш ніж у двох локаціях передбачає забезпечення стійкого процесу навчання, етапи якого взаємопов'язані та забезпечують зворотний зв'язок у процесі навчання.

В дуальній системі навчання на робочому місці є домінуючою формою освіти. Тому визначення комплексного елемента “завдання” як інтегруючої складової навчання в компанії та на робочому місці є умовою формування індивідуального плану навчання за дуальною формою освіти.

Принциповим у дуальній системі при складанні навчального плану є визначення зв'язку між компетенціями та завданнями. Необхідність встановлення зв'язку зумовлена побудовою навчального плану забезпеченням набуття компетенцій (відображення їх прогресу) під час навчання в ЗВО та компанії.

Інтегруюче завдання можна представити у вигляді кортежу числових параметрів (за прикладом [52])

$$Z_{kj} = (a_{kj}^1, a_{kj}^2, a_{kj}^3, a_{kj}^4, a_{kj}^5, a_{kj}^6, a_{kj}^7, a_{kj}^8), k = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i}, \quad (2.3)$$

де Z_{kj} – j -те завдання K_k компетенції, m_i - кількість завдань, що входить до компетенції; a_{kj}^1 – початок вивчення завдання (номер тижня); a_{kj}^2 – закінчення виконання завдання (номер тижня); a_{kj}^3 – об'єм лекцій в ЗВО; a_{kj}^4 – об'єм лабораторних занять у ЗВО; a_{kj}^5 – об'єм семінарських занять; a_{kj}^6 – об'єм

навчання на робочому місці під час виконання посадових обов'язків; a_{kj}^7 – об'єм індивідуальної роботи студента у компанії; a_{kj}^8 – об'єм самостійної роботи студента.

Беручи до уваги особливість дуальної форми навчання, види навчальної діяльності можна поділити на ті, які відбуваються у ЗВО, та ті, що вивчаються на робочому місці. До видів навчальної діяльності у ЗВО в дуальній системі віднесемо: лекційні заняття, лабораторні, семінарські та самостійну роботу студентів. Види навчальної діяльності у компанії: навчання на робочому місці під час виконання посадових обов'язків, індивідуальна робота в компанії.

Визначимо навчальне навантаження на студента (відповідно до прикладу [52]). Позначимо навчальне навантаження як аудиторну роботу, самостійну та навчання в компанії.

Аудиторні заняття визначимо як суму лекційних, семінарських та лабораторних занять

$$a_{kj}^{ayd} = \sum_{d=3}^5 a_{kj}^d \quad (2.4)$$

де d – номер елемента у формулі 2.3.

Навчання у компанії визначимо як суму об'єму навчання під час виконання посадових обов'язків та індивідуальної роботи студента

$$a_{kj}^{pob} = \sum_{d=6}^7 a_{kj}^d, \quad (2.5)$$

де d – номер елемента у формулі 2.3.

Обсяг повного навантаження студента становить суму аудиторного навчання, навчання в компанії та самостійну роботу студента

$$a_{kj}^{nov} = a_{kj}^{ayd} + a_{kj}^{pob} + a_{kj}^{sam}. \quad (2.6)$$

де $a_{kj}^{sam} = a_{kj}^{\delta}$.

Формалізуємо завдання генерації навчального плану. Визначимо навантаження навчального процесу на студента та викладача в тиждень згідно з нормативами, що визначені у законодавстві України для дуальної форми навчання. Цільова функція навчального плану згідно до праці [52] має вигляд

$$\sum_{t=1}^{t_{max}} \left| \left(\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{kj}^{nov}(t) \right) - \frac{\sum_{t=1}^{t_{max}} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{kj}^{nov}(t)}{t_{max}} \right| + \max_t \left(\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{kj}^{nov}(t) \right) - \min_t \left(\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{kj}^{nov}(t) \right) \rightarrow \min \quad (2.7)$$

Навчальне навантаження на студента у ЗВО протягом тижня за актуальними нормами становить не більше 45 академічних годин:

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} a_{kj}^{nov}(t) \leq t_{max}^{nov}, \quad (2.8)$$

де $t_{max}^{nov} = 45$.

Навантаження на студента у ЗВО лекції, семінарські заняття та лабораторні буде згідно з Законом Про вищу освіту [30] в якому у дуальній освіті в компанії навчання становить від 25% до 60% загального обсягу освітньої програми, тоді в ЗВО

$$0.40kE \leq \sum_{j=1}^m a_{kj}^{ayd} \leq 0.75kE, \quad (2.9)$$

де kE – кількість кредитів ECTS, (один кредит 30 год відповідно до Закону Про вищу освіту [30]).

При цьому обсяг самостійної роботи має становити

$$\sum_{j=1}^m a_{kj}^{cam} \leq 0.25kE. \quad (2.10)$$

Тоді навантаження на студента на робочому місці в компанії буде становити

$$0.25kE \leq \sum_{j=1}^m a_{kj}^{pob} \leq 0.60kE. \quad (2.11)$$

Таким чином, навчальне навантаження на студента у семестр становить

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m a_{kj}^{nog} \geq 0.5kE, S = \{T_b^S \wedge T_f^S\}. \quad (2.12)$$

k_{pich} – залікові кредити на рік 60 ECTS; S – семестр; T_b^S – номер тижня початку семестру; T_f^S – номер тижня кінця семестру.

Особливістю запропонованої формалізації компонентів навчального плану дуального навчання є можливість її адаптації до вимог та потреб роботодавців під час освітнього процесу. Інтеграційним елементом даного навчального плану є комплексне завдання, що об'єднує навчання студента у компанії з навчанням у закладі освіти. Наявність елемента комплексного завдання робить навчальний план адаптаційним до коригування з боку роботодавця через його спільне узгодження із закладом освіти, коригування до власних проблем та викликів, використовуючи академічний потенціал закладу освіти.

2.2. Формалізація інформаційного процесу оцінювання результатів навчання в системі дуальної освіти

Як і будь-яка діяльність компаній, дуальне навчання має бути прибутковим, прикладом є Швейцарія [81]. Проте при даному підході може переважати виробниче навчання, яке продуктивно вигідне фірмі. Академічна складова навчання може послаблюватися. Дуальне навчання у Європейських країнах досягло високого рівня розвитку. Однак сформувались і деякі проблеми, зокрема

в Німеччині та Швейцарії. Може домінувати одна зі сторін навчання [95, 131], академічна сторона врахована недостатньо. Для країн, в яких дуальна освіта лише впроваджується (серед них і Україна), пропонуємо математичну модель комплексного оцінювання навчальних досягнень студентів у компанії з урахуванням академічної складової як компонента інформаційної технології автоматизації інформаційних процесів дуальної освіти.

Інформаційна технологія дуального навчання є середовищем, в якому реалізуються процеси дуальної освіти. Дана технологія у комплексному вигляді відсутня як у країнах із давньою традицією дуального навчання, так і країнах, для яких ця форма освіти є новою. Суть інформаційної технології дуального навчання розкривається через взаємодію зацікавлених сторін: студент, навчальний заклад, компанія. Запропонована структура інформаційної технології дуального навчання представлена на рис. 2.1. Оптимізація вартості навчання (рис.2.1) проводиться компанією для формування у студента саме тих компетенцій, які необхідні для виконання посадових обов'язків у цій компанії, мінімізуючи вартість навчання та водночас максимізуючи корисність. Блок підтримки прийняття рішення (ППР) із обрання дисципліни спеціальності за вибором представляє застосунок інформаційного порталу, який буде допомагати обрати студенту предмети освітньої програми спеціальності. Віртуальний щоденник навчання необхідний для відстеження (викадачем, інструктором) та фіксації прогресу студента.

Семантична база даних будується методом виокремлення сутностей та встановлення зв'язків між ними для забезпечення управління навчанням студента, забезпечення віртуального кабінету для студента, викладача, інструктора. Інформаційний портал є платформою, яка пов'язує усі складові інформаційної технології в єдине ціле, представляє інтерфейс взаємодії.

Студент у дуальній освіті є працівником компанії, тому ми розглядаємо метод оцінювання студента як підклас задач управління людськими ресурсами (УЛР).

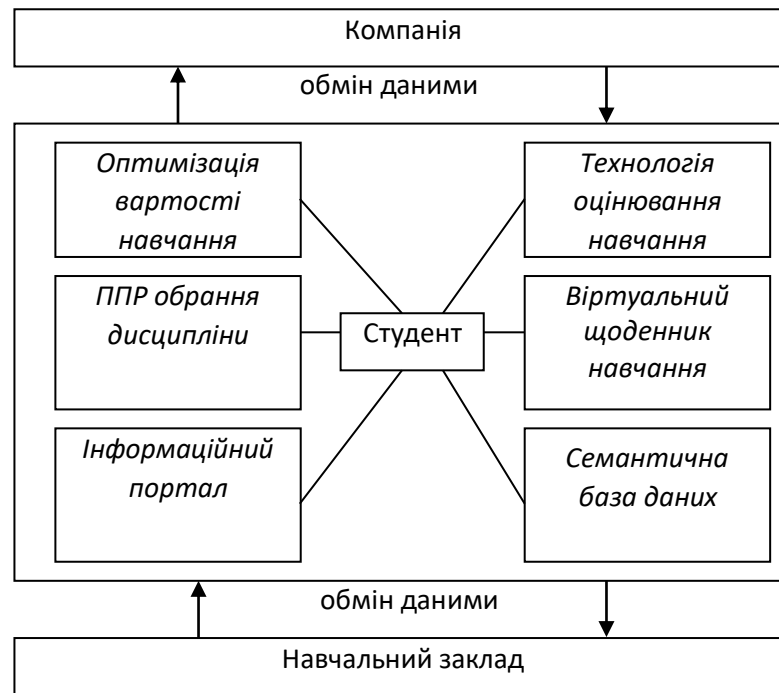


Рисунок 2.1 – Складові інформаційної технології дуальної форми освіти

Постановка проблеми розв’язання задачі УЛР у системі дуального навчання є складним комплексним завданням. Оскільки студент є одночасно працівником компанії, потрібно враховувати інколи конфліктні інтереси стейкхолдерів. Навчальний план у дуальній системі передбачає реалізацію навчального процесу в компанії та навчальному закладі. Дуальна форма навчання має інтегруватися в освітній процес, не ліквідовуючи його академічну складову. Для цього необхідним є розроблення механізму такого оцінювання студента роботодавцем, який врахує не лише досягнення компетенцій для роботи в компанії, але й усі програмні результати навчання з освітньої програми.

Вирішуємо поставлене завдання як оптимізацію багатокритеріальної задачі із ранжуванням множини альтернатив. Запропонований метод оцінювання результатів навчання в даній системі має відповідати таким вимогам:

- ієрархічність критеріїв оцінювання досягнення компетенцій, що характеризують навчальні досягнення студентів;
- вагові коефіцієнти критеріїв;
- розрахунок відповідності компанії навчання вимогам спеціальності;

– можливість ранжування інтегральної оцінки студентів, які навчаються в різних компаніях;

Введемо позначення вихідних даних методу оцінювання навчання студента. Множина компаній, в якій навчаються студенти, $N = \{c_1, c_2, \dots, c_s, \dots, c_n\} = (c_s, s = \overline{1, n})$, множина студентів, які навчаються за дуальною формою навчання $A = \{A_1^s, A_2^s, \dots, A_e^s, \dots, A_n^s\} = (A_e^s, e = \overline{1, n})$, множина компетенцій освітньої програми $K = \{K_1, K_2, \dots, K_k, \dots, K_m\} = (K_k, k = \overline{1, m})$, множина навчальних дисциплін $K_k = \{D_{11}, D_{12}, \dots, D_{kd}, \dots, D_{mb_k}\} = (D_{kd}, k = \overline{1, m}, d = \overline{1, b_k})$, множина інструкторів, які навчають та оцінюють студентів у компаніях – $J = \{h_1, h_2, \dots, h_s, \dots, h_n\} = (h_s, s = \overline{1, n})$, коефіцієнти критеріїв компетенцій $\sum_{k=1}^m w_k^s = 1$, коефіцієнтів підкритеріїв дисциплін $\sum_{d=1}^{b_k} w_{kd}^s = 1$, вагові коефіцієнти невідповідності займаній посаді або профілю компанії спеціальності навчання студента $v_s = (v_s, s = \overline{1, n})$. Інтегральна оцінка, яку підприємство c_s виставляє студенту e , буде мати вигляд $E_e^s = [r_{11}, r_{12}, \dots, r_{dj}, \dots, r_{b_k q}] = (r_{dj}, d = \overline{1, b_k}, j = \overline{1, q})$ де r_{dj} – оцінка за j завдання, пов'язаного з предметом d .

Система оцінювання студентів у Європейських вищих навчальних закладах базується на кредитно-трансферній накопичувальній системі оцінювання (ECTS). Використовується оцінювання поточної семестрової роботи при вивченні дисципліни (75 балів) та екзаменаційна рейтингова оцінка (25 балів). Таким чином результати оцінювання навчання в компанії мають конвертуватись у шкалу ECTS.

Відповідно до певних проблем колаборації компанії та навчального закладу у системі дуальної освіти [95, 131] і як наслідок домінування компаній та можливого певного переважання продуктивно вигідного навчання для них [81]. Постановкою проблеми буде побудова методу оцінювання навчання в компанії,

який буде враховувати академічну складову навчання та буде компонентом інформаційної технології дуальної форми освіти.

Оцінка роботодавцем результатів навчання студента є складноформалізованим завданням задачі УЛР, оскільки критерії оцінювання складаються з кількісних та якісних показників. У дослідженні вирішено використовувати математичний апарат нечітких множин як один із способів розв'язання даної задачі, оскільки інструментарій нечіткої логіки дозволяє формалізувати складні завдання оцінювання, перевести кількісні показники в якісні, та навпаки.

Теорії нечітких множин розглядають невизначеність як недостатність інформації. Варто зазначити, що прийняття рішення залежить не тільки від наявної інформації, а й від психологічних факторів, які впливають на особу, що робить вибір (що є важливим в контексті оцінювання наставником в компанії досягнень студентів). Дослідження впливу психологічних факторів у мультикритеріальних задачах прийняття рішення досліджувалися у роботах [99–100] та у роботі [170] на основі теорії перспектив [117].

Проте до суб'єктивності належить багато різних психологічних факторів, які її визначають. Серед таких факторів можна віднести упереджене ставлення до об'єкта оцінювання, його характеристик. Часто даними психологічними установками особа може керуватися на підсвідомому рівні, сприймаючи їх як додаткову інформацію або її відсутність. Упереджене ставлення може бути пов'язане з особистими мотивами, психологічним станом особи, що приймає рішення, обставинами, за яких приймається рішення, схильності переоцінювати ситуацію, або навпаки. Прийняття рішення має відбуватися з урахуванням як інформаційної складової, так і психологічних факторів, тобто суб'єктивності. Визначення впливу суб'єктивності може відбуватися при здійсненні оцінювання функції належності елемента множині з урахуванням інформаційної невизначеності або після неї через певний період часу. Час визначення суб'єктивності залежить від методів та способів її виділення. Усвідомлення суб'єктивності може відбуватися після зміни обставин прийняття рішення,

психологічного стану особи, тобто через певний час після здійснення оцінювання. Виділення суб'єктивності може бути також через визначення факторів її появи за допомогою анкетування особи, що приймає рішення після призначення нею оцінювань, і, як наслідок, їх коригування з урахуванням суб'єктивності або коригування іншою незацікавленою особою, що ознайомлена з предметом. Таким чином оцінювання суб'єктивності є додатковим фактором, що впливає на прийняття рішення разом із недостатністю інформації. Врахування суб'єктивності є коригуючим доповненням оцінювання за допомогою нечітких множин для зменшення невизначеності. Варто зазначити, що суб'єктивність у задачах УРЛ заслуговує окремої уваги, оскільки в даних обставинах мають місце міжособистісні психологічні фактори взаємодії людей.

Визначимо суб'єктивність як фактор прийняття рішення вплив якого спотворює отримання об'єктивного результату. Окреслимо компоненти фактора суб'єктивності як такі, що складаються з психологічної та інформаційної складових при врахуванні впливу обставин на прийняття рішення. Інформаційний компонент суб'єктивності охарактеризуємо як недостатність інформації або її недостовірність. Психологічний компонент охарактеризуємо як намірену суб'єктивність, пов'язану з упередженістю. В науковому дискурсі приділено недостатньо уваги проблемі суб'єктивності в теорії нечітких множин.

Методи багатокритеріального аналізу, як показує аналіз досліджень у першому розділі, найкраще підходять для задач управління людськими ресурсами. До переваг методів можна віднести можливість ранжування альтернатив оцінювання, побудова ієрархічності критеріїв оцінювання, можливість згортання ієрархії критеріїв. Застосування методів багатокритеріального аналізу з елементами нечітких множин представляють гнучкі інструменти для вирішення комплексних завдань.

Аналізовані методи багатокритеріального аналізу та моделі на основі нечітких множин досліджували у сфері застосування рекрутингу персоналу (див. розділ 1). Оцінювання проводили як підсумок набутих навиків, що унеможлиблює вплив на альтернативи ранжування. Наведені приклади є лише інструментом

відбору для особи, що приймає рішення. На сьогодні недостатньо досліджень застосування методів багатокритеріального аналізу, які б були інструментом і методом впливу на альтернативи ранжування особи, що приймає рішення. Тобто ранжування у процесі навчання для можливості отримання зворотного зв'язку реагування альтернатив ранжування при повторному застосуванні методу.

Аналізовані приклади (див. підпункт 1.3 розділ 1) розглядають ранжування в межах однієї системи належності альтернатив. Перевагою ранжування альтернатив, які належать до кількох систем, є врахування гетерогенності середовища належності альтернатив (що є важливим для дуальної форми освіти, оскільки студент навчається в різних локаціях). Ранжування альтернатив, які належать до різних систем, розширює область застосування багатокритеріального аналізу до нових класів задач, вирішення проблем у нових сферах та галузях, вирішення традиційних проблем під новим кутом зору. Застосування аналізу з різними підсистемами дозволяє залучати й враховувати ефект від особливостей альтернатив із різних середовищ на ціль аналізу. Удосконалення методів багатокритеріального аналізу проводиться в напрямку покращення точності обчислень та модифікації точності оцінювання альтернатив. Немає досліджень удосконалення методів багатокритеріального аналізу з урахуванням різних систем, до яких належить альтернатива, з подальшим ранжуванням альтернатив інтегрального оцінювання.

Недостатньо висвітлено в науковому дискурсі досліджень урахування суб'єктивності при прийнятті рішень у багатокритеріальних задачах, зокрема в задачах міжособистісної кооперації, тобто УЛР, коли на прийняття рішення можуть впливати особистий досвід (певна упередженість) взаємодії експертів із кандидатами, працівниками.

2.2.1. Метод оцінювання навчання студента в системі дуальної освіти

Методи нечіткої логіки є ефективним інструментом у формалізації складних задач. Апарат нечітких множин представляє інструменти для конвертування людських суджень із якісних у кількісні оцінки, та навпаки. Тому використання

нечітких методів оцінювання є необхідною складовою побудови методу оцінювання навчання студента. Моделі нечіткого виведення, що використовують засоби нечіткої логіки мають ряд недоліків, зокрема необхідність окремого навчання системи для різних класів задач. Для усунення зазначених вад моделі вирішено використовувати метод багатокритеріального аналізу TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution) із використанням нечітких трапецієподібних чисел. Перевагою методу TOPSIS у порівнянні з іншими методами багатокритеріального аналізу є визначення кращої альтернативи значення якої знаходять через відстань одночасно від ідеально позитивного та ідеально негативного значень, можливість згортання ієрархії критеріїв. Таким чином, метод TOPSIS використовує переваги апарату нечітких множин та усуває недоліки моделі нечіткого виведення, а саме відсутність необхідності формування бази знань та навчання системи для різних класів задач. Дані переваги скорочують час розрахунків та налаштування методу. Алгоритм методу TOPSIS описано в роботах [110, 171], дослідження на базі даного методу проведено у роботах [25, 139].

Алгоритм методу TOPSIS складається з таких етапів:

1. Визначення критеріїв та підкритеріїв задачі багатокритеріального аналізу. Визначення коефіцієнтів відносної важливості критеріїв та підкритеріїв моделі методом аналізу ієрархій Т. Сааті. Зведення критеріїв дворівневої моделі до однорівневої з використанням формули знаходження ваги часткового критерію

$w_i^s = w_k^s \cdot w_{kd}^s$ (згідно праці [25]), де $\sum_{k=1}^m w_k^s = 1$, $\sum_{d=1}^{b_k} w_{kd}^s = 1$, де w_k^s – коефіцієнт

відносної важливості k -ї компетенції у s -ї компанії (критерію множини

$K = \{K_k, k = \overline{1, m}\}$ компетенцій); w_{kd}^s – коефіцієнт відносної важливості d -ї

дисципліни (підкритерію множини $K_k = \{D_{kd}, d = \overline{1, b_k}\}$ дисциплін); w_i^s – вага

часткового критерію об'єднаної множини часткових критеріїв

$Y = \{D_{kd}, k = \overline{1, m}, d = \overline{1, b_k}\} = \{D_i, i = \overline{1, I}\}$, утвореної в результаті обчислення

$w_i^s = w_k^s \cdot w_{kd}^s$, де I число часткових критеріїв, що характеризують альтернативи

$I = \sum_{k=1}^m b_k$, тобто коли усі критерії об'єднанні в одну множину Y .

2. Оцінювання завдань виконаних студентами h_s -експертом s -ї компанії, за допомогою нечітких трапецієподібних чисел

$R_{eij}^s = [r_{eij}^s], s = \overline{1, n} \Leftrightarrow \{a_{eij}^s, b_{eij}^s, c_{eij}^s, d_{eij}^s\}, s = \overline{1, n}$, де оцінювання призначене e студенту A_e , експертом із s компанії за завдання j яке пов'язане із частковим критерієм i дисципліни D_{kd} відповідно до шкали, представленої у табл.2.1.

3. Перемноження елементів матриці $R_{eij}^s = [r_{eij}^s] \Leftrightarrow \{a_{eij}^s, b_{eij}^s, c_{eij}^s, d_{eij}^s\}$ на вагу часткових критеріїв w_i^s (s у кожній компанії) із утворенням зваженої матриці

$$R_{eij}^{sw} = [r_{eij}^{sw}] \Leftrightarrow \{a_{eij}^{sw}, b_{eij}^{sw}, c_{eij}^{sw}, d_{eij}^{sw}\}.$$

4. Нормалізація матриці до методу, представленого у роботі [25]

$$d_i^+ = \max d_{eij}^{sw}, e = \overline{1, n} \text{ виразу}$$

$$R_{eij}^{SN} = [r_{eij}^{SN}] \Leftrightarrow \{a_{eij}^{SN}, b_{eij}^{SN}, c_{eij}^{SN}, d_{eij}^{SN}\} \Leftrightarrow \left\{ \frac{a_{eij}^{sw}}{d_i^+}, \frac{b_{eij}^{sw}}{d_i^+}, \frac{c_{eij}^{sw}}{d_i^+}, \frac{d_{eij}^{sw}}{d_i^+} \right\} \quad (2.14)$$

5. Визначення ідеально позитивних (ІПР) та ідеально негативних рішень (ІНР) X^* та X^- відповідно, тобто $d_i^* = \{ \max d_{eij}^{SN}, e = \overline{1, n} \}$ та $a_i^- = \{ \min a_{eij}^{SN}, e = \overline{1, n} \}$, та формуються відповідні матриці із ідеально негативних та позитивних значень.

6. Розрахування відстані трапецеподібних (різниці [76]) оцінок альтернатив (студентів) до ідеально негативних та ідеально позитивних значень критеріїв за формулою

$$D_i^*(A_e^s, X^*) = \sqrt{\frac{1}{4}((a_{eij}^{SN} - d_i^*)^2 + (b_{eij}^{SN} - d_i^*)^2 + (c_{eij}^{SN} - d_i^*)^2 + (d_{eij}^{SN} - d_i^*)^2)} \quad (2.15)$$

та відповідно за формулою

$$D_i^-(A_e^s, X^*) = \sqrt{\frac{1}{4}((a_{eij}^{SN} - a_i^-)^2 + (b_{eij}^{SN} - a_i^-)^2 + (c_{eij}^{SN} - a_i^-)^2 + (d_{eij}^{SN} - a_i^-)^2)} \quad (2.16)$$

7. Визначення відстані альтернатив до ІПР та ІНР за формулами

$$D^*(A_e^s) = \sqrt{\sum_{i=1}^I (D_i^*(A_e^s, X^*))^2} \quad (2.17)$$

та

$$D^-(A_e^s) = \sqrt{\sum_{i=1}^I (D_i^-(A_e^s, X^-))^2} \quad (2.18)$$

8. Коефіцієнт наближення ϕ , що розраховується за формулами

$$D(A_e^s) = D^*(A_e^s) + D^-(A_e^s), \quad (2.19)$$

$$\phi(A_e^s) = \frac{D^-(A_e^s)}{D(A_e^s)}, \quad (2.20)$$

за результатами якого ранжуються альтернативи.

9. Розробимо модифікацію методу TOPSIS а саме доповнимо визначенням за допомогою методу аналізу ієрархій (MAI) вагових коефіцієнтів невідповідності $v_s = (v_s, s = \overline{1, n})$ підсистем альтернатив ранжування (компаній) спільній системі (освітній програмі). Після цього необхідно розрахувати кориговані показники за формулою

$$\alpha(A_e^s) = (((1 - \phi(A_e^s))v_s) + 1)\phi(A_e^s), \quad (2.21)$$

де $\alpha(A_e^s)$ – скоригована оцінка e – студента s -ї компанії; ϕ – коефіцієнт оцінювання студента, розрахований методом TOPSIS.

Удосконалення методу в порівнянні з прикладами [25, 139] необхідне, оскільки альтернативи ранжування у даному методі належать до різних підсистем

оцінювання (ранжування відбувається експертами окремо у кожній компанії з призначенням власних вагових коефіцієнтів спільній множині критеріїв та підкритеріїв). Невідповідність властивостей підсистем оцінювання чинять вплив на результати застосування методу, зміщуючи результуючі показники, що вимагає їх коригування. Метод у даному дослідженні застосовується до процесу оцінювання (тобто передбачає повторні ітерації оцінювання під час навчання) і не є підсумковим етапом як у роботах [25, 139].

Після другого етапу алгоритму визначення ступеня належності оцінок студентів додамо додаткові кроки визначення суб'єктивізму експертів.

Для коригування функцій належності трапецієподібних чисел нечітких множин візьмемо за основу інтуїціоністські нечіткі множини. Інтуїціоністські нечіткі множини B в E визначаються у такій формі (відповідно до праці [60]):

$$B = \{ \langle x, \mu_B(x), \nu_B(x) \rangle \mid x \in E \}, \quad (2.22)$$

де функція належності

$$\mu_B : E \rightarrow [0, 1]$$

та функція неналежності

$$\nu_B : E \rightarrow [0, 1].$$

Інтуїціоністські нечіткі множини визначають ступінь належності та ступінь неналежності для кожного $x \in E$

$$0 \leq \mu_B(x) + \nu_B(x) \leq 1. \quad (2.23)$$

Звичайні нечіткі множини можна записати

$$\{ \langle x, \mu_B(x), 1 - \mu_B(x) \rangle \mid x \in E \}. \quad (2.24)$$

Коефіцієнт невизначеності належності елемента $x \in E$ інтуїціоністській множині B визначається як

$$\pi_B(x) = 1 - \mu_B(x) - \nu_B(x). \quad (2.25)$$

Для звичайних нечітких множин $\pi_B(x) = 0$ для кожного $x \in E$.

Інструменти нечітких множин характеризують належність елементів до певної множини через функцію належності в інтервалі $[0,1]$. Неточність результатів застосування нечітких множин пов'язана з обмеженістю інформації експертів, що приймають рішення про аналізований об'єкт, його середовище, тобто з так званою обмеженою раціональністю прийняття рішення.

Як уже зазначалося вище, інтуїціоністські нечіткі множини складаються з функції належності $\mu_B(x)$ та функції неналежності $\nu_B(x)$ елемента $x \in E$ інтуїціоністській множині. Введемо поняття недооцінювання та переоцінювання об'єкта, його характеристики через функцію належності оцінки та позначимо їх як $u_B(x)$ та $o_B(x)$ відповідно. Назвемо запропоновану модифікацію інтуїціоністських нечітких множин суб'єктивними нечіткими множинами. Таким чином суб'єктивні нечіткі множини будуть визначати ступінь недооцінювання (заниження) та переоцінювання (завищення) призначеної експертом оцінки студенту:

$$u_B(x): r_{eij}^s \rightarrow [0,1], o_B(x): r_{eij}^s \rightarrow [0,1] \quad (2.26)$$

за умови

$$0 \leq u_B(x) + o_B(x) \leq 1.$$

Чим ближче одночасно будуть два значення недооцінювання та переоцінювання до 0,5 (середини), тим об'єктивнішою є була призначена оцінка.

Операції суб'єктивних нечітких множин будемо вважати аналогічними інтуїціоністським множинам:

$$\pi_B(x) = 1 - u_B(x) - o_B(x), \quad (2.27)$$

де $\pi_A(x)$ є коефіцієнтом невизначеності.

$$\text{score}(S) = u_B(x) - o_B(x), \quad (2.28)$$

де $\text{score}(S)$ – функція оцінки.

$$\text{accuracy}(F) = u_B(x) + o_B(x), \quad (2.29)$$

де $\text{accuracy}(F)$ – функція точності оцінювання.

Операції елементів B і Q суб'єктивних множин будуть аналогічними інтуїціоністським множинам представлених функціями (відповідно до праці [60]).

Доповнення:

$$B^c = \{ \langle x, u_B(x), o_B(x) \rangle \}. \quad (2.30)$$

Об'єднання: $B \cup Q = \{ \langle x, \max(u_B(x), u_Q(x)), \min(o_B(x), o_Q(x)) \rangle \}. \quad (2.31)$

Переріз:

$$B \cap Q = \{ \langle x, \min(u_B(x), u_Q(x)), \max(o_B(x), o_Q(x)) \rangle \}. \quad (2.32)$$

\oplus – об'єднання:

$$B \oplus Q = \{ \langle x, u_B(x) + u_Q(x) - u_B(x)u_Q(x), o_B(x) + o_Q(x) - o_B(x)o_Q(x) \rangle \}. \quad (2.33)$$

\otimes – переріз:

$$B \otimes Q = \{ \langle x, u_B(x)u_Q(x), o_B(x) + o_Q(x) - o_B(x)o_Q(x) \rangle \}. \quad (2.34)$$

Визначення суб'єктивності призначених оцінок експертами проводилося фахівцями, ознайомленими з предметною областю оцінювання. Етапи визначення суб'єктивності:

1. Призначення суб'єктивних оцінок нечітким трапецієподібним числам.

2. Коригування трапецієподібних оцінок $R_{eij}^S = (r_{eij}^S) = (a_{eij}^S, b_{eij}^S, c_{eij}^S, d_{eij}^S)$ призначених експертами за виконане завдання з кожної дисципліни (підкритерію)

$K_k = \{D_{kd}, d = \overline{1, b_k}\}$ студентів $A = (A_e^s) = (A_e^s, e = \overline{1, n})$ на суб'єктивність $B = \{(x, u_B(x), o_B(x))\}$, недооцінювання та переоцінювання відповідно.

3. Визначення точності оцінювання призначених суб'єктивних множин за допомогою $score(S)$ функції

$$score(S) = u_B(x) - o_B(x). \quad (2.35)$$

4. Коригування значення трапецієподібних чисел з урахуванням оцінювання суб'єктивності таким чином:

$$R_{eij}^s = \begin{cases} (a_{eij}^s - o_B(x), b_{eij}^s - (S), c_{ei}^s - (S), d_{eij}^s + u_B(x)), & \text{якщо } u_B(x) < o_B(x) \\ (a_{eij}^s + u_B(x), b_{eij}^s + (S), c_{ei}^s + (S), d_{eij}^s - o_B(x)), & \text{якщо } u_B(x) > o_B(x) \end{cases} \quad (2.36)$$

Результат коригування представлено на рис. 2.2 та 2.3.

Таким чином, при від'ємному значенні функції оцінки $score(S)$ суб'єктивних множин значення функції належності трапецієподібних чисел зменшується через розширення ребер трапеції та зміщення центру в напрямку зменшення, таким чином збільшуючи невизначеність призначених оцінок.

При додатному значенні функції оцінки $score(S)$ суб'єктивних множин значення функції належності збільшується через звуження ребер трапеції зі зміщенням центру в напрямку збільшення. Таким чином, при недооцінюванні трапецієподібна функція належності звужується зі зміщенням центру в напрямку збільшення, зменшуючи невизначеність та підвищуючи точність.

Запропонований метод у системі дуальної освіти полягає в оцінюванні навчання студента в даній системі. Навчання та робота студента у двох локаціях (університет та компанія) зміщує акцент оцінювання на процес набуття та одночасно застосування навиків у робочому середовищі, тобто навчання через роботу.

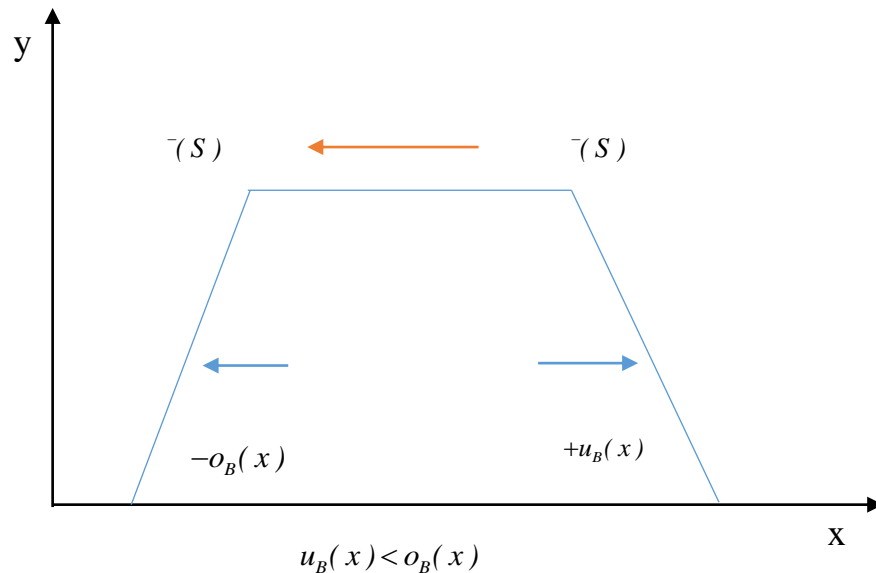


Рисунок 2.2 – Розширення трапецієподібної функції належності зі зміщенням центру внаслідок коригування суб'єктивізму

Взаємодія між локаціями навчання відбувається шляхом формування з боку роботодавця завдань, які є актуальними для потреб ефективного функціонування підприємства та вирішення поточних проблем. Метою розроблення методу оцінювання навчання студента з боку роботодавця є формування професійних компетенцій згідно з освітньою програмою, що перевірені на практиці у компанії.

Таким чином, навчання студента коригується у відповідності з вимогами підприємства, в результаті чого досягається синергетичний ефект. Крім цього, формування завдань може відбуватися також з боку навчального закладу з їх реалізацією на робочому місці та оцінюванням ефективності з боку компанії.

Згідно зі структурою метод оцінювання студента складається з таких критеріїв та підкритеріїв:

- дисципліни ЗВО → завдання підприємства;
- компетенції програми спеціальності студента.

Вибір компетенцій студента залежить від спеціальності навчання й може бути передбачений стандартом Міністерства освіти.

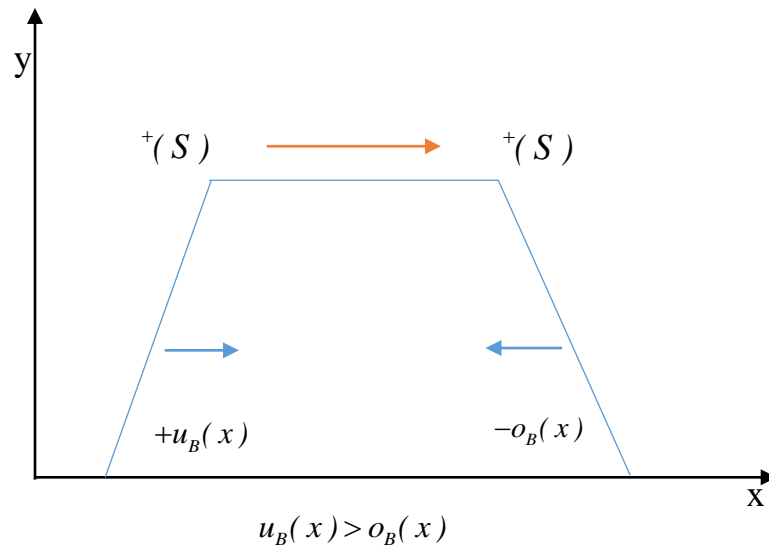


Рисунок 2.3 – Звуження трапецієподібної функції належності зі зміщенням центру внаслідок коригування суб'єктивізму

Компанія може також сформувати власні компетенції, необхідні для досягнення цілей підприємства та зростання продуктивності роботи студента-працівника. Предмети, які студент вивчає у закладі освіти, є складовими компетенцій, тобто формують проміжну оцінку. Первинними вхідними елементами методу оцінювання ефективності є завдання, які підприємство ставить перед студентом для виконання покладених на нього функцій.

Формалізація завдання студента на підприємстві представлена у першому підпункті даного розділу.

Оцінювання з боку роботодавця відбувається за результатами індивідуальної роботи студента у компанії. Студент реконтекстуалізує отримані знання в закладі освіти в практичне вирішення завдань, які ставить роботодавець.

Визначення вагових критеріїв та підкритеріїв як вже зазначалось проведено за допомогою попарних порівнянь методом аналізу ієрархій Т. Сааті [40]. Суть методу аналізу ієрархій (МАІ) полягає в складанні матриць попарного порівняння суджень експертів. Судження представляють матрицю $A(a_{ij})$ із одиничною діагоналлю, a_{ij} – представляє співвідношення відповідних оцінок елементів i та j , які змінюються від одиниці до величини, що дорівнює кількості факторів. Дані рівні є одночасно інтеграційним та складовим елементами наступних рівнів

оцінювання. На основі експертних оцінок у результаті виконання $n(n-1)/2$ попарного порівняння формується частина матриці, що вище діагоналі. Оскільки оцінювання проводиться роботодавцем, метод попарного порівняння надає можливість оцінити відносну важливість критеріїв та підкритеріїв для досягнення поточних цілей компанії. Рівні відносних вагових коефіцієнтів відображає рівень важливості дисциплін і компетенцій для компанії.

Отже, використання однокритеріальної задачі методу аналізу ієрархій використано для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв та підкритеріїв, які відображають важливість компетенції та предметів для компанії.

Враховуючи, що студент навчається почергово в компанії та навчальному закладі, доцільно використовувати шкалу ECTS оцінювання (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Шкала оцінювання нечітких трапецієподібних чисел

№	лінгвістична змінна	ECTS	оцінка інтервал	нечіткі трапецієподібні числа
1	погано	F	0–25	(0,0,1,2)
2	незадовільно	FX	26–49	(1,2,2,3)
3	достатньо	E	50–60	(2,3,4,5)
4	задовільно	D	61–70	(4,5,5,6)
5	добре	C	71–79	(5,6,7,8)
6	дуже добре	B	80–87	(7,8,8,9)
7	відмінно	A	88–100	(8,9,10,10)

Оцінки за виконані завдання (результатів навчання студентів у компанії) методом TOPSIS оцінюють лінгвістичними змінними суджень експертів [179], що представляють у алгоритмі TOPSIS нечіткі трапецієподібні числа

$$R_{eij}^s = (r_{eij}^s) = (a_{eij}^s, b_{eij}^s, c_{eij}^s, d_{eij}^s).$$

Оцінка навчальних досягнень студента є інтегральним показником, що відображає ступінь досягнення його фахових компетенцій. Інтегральна оцінка

(рис. 2.4) через декомпозицію складових елементів показує проміжні оцінки досягнення цілей студентом на кожному рівні оцінювання, які ставить компанія.

Таким чином, у даній роботі представлено метод оцінювання навчання студента в системі дуальної освіти. Особливістю методу є інтеграція локацій навчання – навчального закладу та компанії через урахування академічної складової навчання. Комплексність методу полягає у використанні методу МАІ для визначення ваг критеріїв на основі методу TOPSIS із використанням нечітких трапецієподібних чисел оцінки досягнень студентів та врахування суб'єктивності експертів, невідповідності підсистем альтернатив ранжування спільній системі.

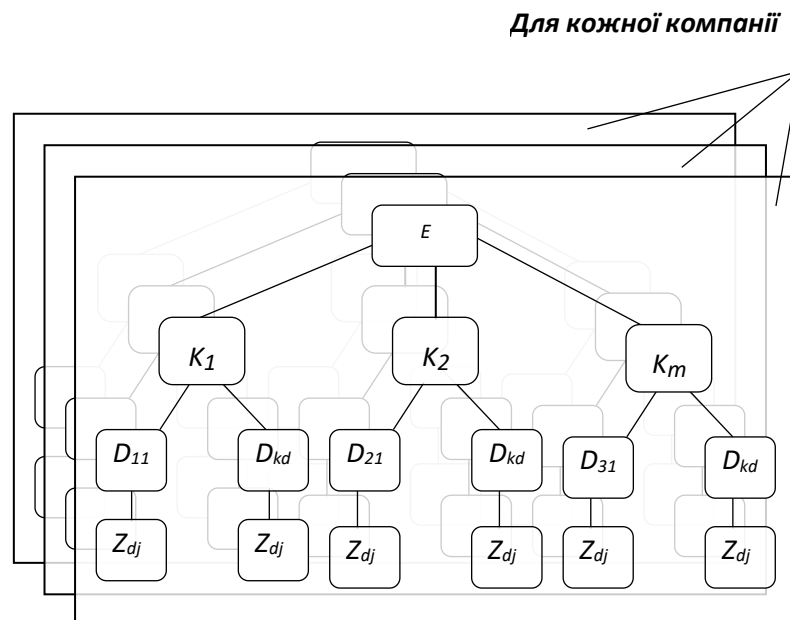


Рисунок 2.4 – Інтегральна оцінка ефективності навчання студента

Продемонструємо апробацію представленого методу. Експеримент проводився для оцінювання результатів навчання студентів спеціальності 125 “Кібербезпека” дуальної форми освіти Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя за навчальний рік (визначення вагових критеріїв відразу на весь період навчання бакалаврату є недоцільним, оскільки представлений метод вимагає адаптації до цілей компанії, які постійно трансформуються в реаліях економічного розвитку). Запропонований метод був апробований у трьох ІТ-компаніях – UnderDefense, Cyberoo, Eleks для оцінювання

навчання студентів в середині фірм. Оцінювання проводилося експертами кожної компанії. У кожній компанії за допомогою попарного порівняння МАІ Т. Сааті були визначені вагові коефіцієнти відносної важливості критеріїв та підкритеріїв (див. додаток Г, таблицю Г.1) – компетенцій та предметів, які їх формують, – для розв’язання завдань компанії та відповідно її профілю спеціалізації. Щоб провести оцінювання на базі методу TOPSIS, потрібно позбутися ієрархічної структури критеріїв. Таким чином $w_i = w_k \cdot w_{kd}$ відповідно до праці [25].

Експертами у кожній компанії було оцінено виконані завдання студентами пов’язаних із підкритеріями за допомогою лінгвістичних змінних нечітких трапецієподібних чисел, представлених у (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Оцінка завдань лінгвістичними змінними

Часткові критерії (дисципліни)	UnderDefense c_1	Cyberoo c_2	Eleks c_3
	Студент a_1^1	Студент a_1^2	Студент a_1^3
D_1	відмінно	дуже добре	відмінно
D_2	дуже добре	дуже добре	дуже добре
D_3	дуже добре	добре	добре
D_4	задовільно	дуже добре	задовільно
D_5	задовільно	відмінно	задовільно
D_6	відмінно	задовільно	відмінно
D_7	відмінно	відмінно	відмінно
D_8	добре	задовільно	відмінно
D_9	добре	дуже добре	добре
D_{10}	задовільно	дуже добре	достатньо
D_{11}	дуже добре	добре	дуже добре

Таким чином оціненні завдання студентів у нечітких трапецієподібних числах буде мати вигляд табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Нечіткі трапецієподібні числа оцінених завдань

Підкритерії (дисципліни)	UnderDefense c_1	Cyberoo c_2	Eleks c_3
	Студент a_1^1	Студент a_1^2	Студент a_1^3
D_1	(8,9,10,10)	(7,8,8,9)	(8,9,10,10)
D_2	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)	(7,8,8,9)
D_3	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(5,6,7,8)
D_4	(4,5,5,6)	(7,8,8,9)	(4,5,5,6)
D_5	(4,5,5,6)	(8,9,10,10)	(4,5,5,6)
D_6	(8,9,10,10)	(4,5,5,6)	(8,9,10,10)
D_7	(8,9,10,10)	(8,9,10,10)	(8,9,10,10)
D_8	(5,6,7,8)	(4,5,5,6)	(8,9,10,10)
D_9	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)
D_{10}	(4,5,5,6)	(7,8,8,9)	(2,3,4,5)
D_{11}	(7,8,8,9)	(5,6,7,8)	(7,8,8,9)

Коли отримано значення у нечітких трапецієподібних числах, необхідно перемножити їх із ваговими коефіцієнтами часткових критеріїв w_i^s . У результаті отримуємо зважені нечіткі трапецієподібні числа, отримані значення нормуються відповідно до методу, представленого в роботі [25] $d_i^+ = \max d_{eij}^{sw}, e = \overline{1, n}$ виразу формули 2.14. Нормовані значення представлені у додатку Г, таблиці Г.2.

Використовуючи нормовані значення, необхідно знайти нечіткі ідеально позитивні та нечіткі ідеально негативні рішення X^* та X^- відповідно, тобто

$d_i^* = \{ \max d_{eij}^{SN}, e = \overline{1, n} \}$ та $a_i^- = \{ \min a_{eij}^{SN}, e = \overline{1, n} \}$. Таким чином отримаємо матриці ідеально позитивних та негативних рішень X^* і X^- (див. додаток Г, таблицю Г.3).

Знайдемо відстані альтернатив за частковими критеріями до ідеально позитивних та ідеально негативних значень за формулами 2.15 та 2.16 [74]. У додатку Г, таблиці Г.4 представлено розраховані відстані альтернатив.

Підсумуємо відстані альтернатив до ідеально позитивного та ідеально негативного значення за кожним критерієм за формулами 2.17 та 2.18.

Знайдемо інтегральний показник за формулами 2.19 та 2.20

Результати розрахунків представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти наближення альтернатив до ідеального рішення

Альтернативи	$D^*(A_e^s)$	$D^-(A_e^s)$	$D(A_e^s)$	$\phi(A_e^s)$
UnderDefense, A_1^1	0,57	0,83	1,40	0,59
Cyberoo, A_1^2	0,55	0,84	1,40	0,60
Eleks, A_1^3	0,64	0,80	1,45	0,55

Згідно з методикою TOPSIS оптимальною альтернативою буде A_1^2 із показником 0,60, наступною буде A_1^1 зі значенням 0,59 та A_1^3 із показником 0,55. Однак в отриманій оцінці не врахована суб'єктивність експертів. Це може негативно вплинути на кінцеві показники. Аби врахувати даний фактор, повторимо розрахунки алгоритму TOPSIS з урахуванням визначення суб'єктивності експертів за допомогою алгоритму суб'єктивних множин, який ми запропонували в методі. Оцінка експертів на суб'єктивність за допомогою суб'єктивних множин представлена в табл. 2.5. У додатку Г, таблиці Г.5 представлені результати коригування оцінок експертів суб'єктивними множинами за допомогою формули 2.36.

Таблиця 2. 5 — Оцінка суб'єктивності призначення трапецієподібних оцінок

№ з/п	UnderDefen se c_1	Cyberoo c_2	Eleks c_3
	Student A_1^1	Student A_1^2	Student A_1^3
D_1	(0,10;0,30)	(0,27;0,40)	(0,08;0,46)
D_2	(0,10;0,25;)	(0,19;0,38)	(0,50;0,40)
D_3	(0,05;0,40;)	(0,50;0,40)	(0,57;0,40)
D_4	(0,55;0,37)	(0,43;0,50)	(0,32;0,20)
D_5	(0,50;0,24)	(0,25;0,50)	(0,12;0,05)
D_6	(0,30;0,58)	(0,09;0,05)	(0,18;0,42)
D_7	(0,08;0,14)	(0,20;0,40)	(0,12;0,32)
D_8	(0,45;0,20)	(0,35;0,18)	(0,07;0,20)
D_9	(0,63;0,34)	(0,14;0,30)	(0,45;0,23)
D_{10}	(0,52;0,29)	(0,24;0,50)	(0,48;0,15)
D_{11}	(0,30;0,58)	(0,50;0,35)	(0,55;0,43)

Після повторного застосування алгоритму TOPSIS і використанням оцінок скоригованих на суб'єктивізм, отримаємо результати ранжування альтернатив. Оптимальною альтернативою буде A_1^1 із показником 0,59, наступною – A_1^3 зі значенням 0,58 та A_1^2 із показником 0,55.

Аналізуючи дані показники, потрібно зауважити, що в Україні дуальна форма навчання є новою, тому впровадження її в закладах освіти має відбуватися на адаптивній основі. Зважаючи на даний факт, спеціалізація навчання у компанії (зокрема посада виконання службових обов'язків, умови навчання) можуть певною мірою не відповідати спеціальності студентів, або навпаки. Для того щоб скоригувати дану невідповідність, необхідно провести оцінювання попарного

порівняння компаній методом МАІ компетентними експертами з навчального закладу.

У результаті проведеного аналізу експертами методом МАІ встановлено коефіцієнти невідповідності компаній або займаній посаді, спеціальності студентів у навчальному закладі. Результати застосування МАІ такі: $v_1 - 0,19$; $v_2 - 0,17$; $v_3 - 0,63$. Для коригування кінцевого результату альтернатив використано розроблену формулу 2.21. Таким чином, після коригування значення альтернатив такі: $\alpha(A_1^1) - 0,64$ (III ранг); $\alpha(A_1^2) - 0,59$ (II ранг); $\alpha(A_1^3) - 0,73$ (I ранг).

Особливістю представленого методу є використання вагових коефіцієнтів для предметів та компетенцій навчальної програми, визначення та врахування суб'єктивності експертів, коригування кінцевих значень невідповідності належності підсистем ранжування альтернатив, використання ваг для адаптації академічної складової до потреб компанії. Тобто навчання у закладі освіти має будуватися на засвоєнні студентом методів та навиків практичних завдань, досягненні цілей у робочому середовищі.

Зважаючи на значну практичну складову дуального навчання, модель освіти має базуватися на компетентнісному підході.

Використання побудованого методу дасть можливість адаптувати навчальний процес до вирішення практичних завдань компанії. В свою чергу, інструктори навчання на робочому місці зможуть визначати важливість компонентів освітньої програми спеціальності безпосередньо через оцінювання студента.

В результаті оцінювання модифікованим методом TOPSIS отримаємо оцінки (табл 2.6).

Таблиця 2.6 – Результати застосування TOPSIS методу

Альтернативи (студенти)	Без урахування суб'єктивізму	Із урахуванням суб'єктивізму експертів	Коригування невідповідності підсистем
UnderDefense, A_1^1	0,59	0,59	0,64

Cyberoo, A_7^2	0,60	0,55	0,59
Eleks, A_7^3	0,54	0,58	0,73

Таким чином, як помітно із результатів таблиці, значення позиції першої альтернативи (студента) A_7^1 не змінилось, оскільки сума результатів параметрів недооцінювання та переоцінювання на суб'єктивізм майже рівні: $\sum u_B(x) = 3,68$ та $\sum o_B(x) = 3,79$ та відповідно $\sum score(S^+) = u_B(x) - o_B(x) = 1,21$, де $u_B(x) > o_B(x)$, $\sum score(S^-) = o_B(x) - u_B(x) = 1,32$, де $u_B(x) < o_B(x)$, значення яких взаємно нівелювалися. Тобто призначені оцінки інструктором компанії були призначені так, що частина з них були занижені, а частина – завищені. Проте в загальній сумі суб'єктивізм пропорційно врівноважився, тому інтегральна оцінка залишилась незмінною. Зниження значень другої альтернативи пов'язане із параметрами $\sum u_B(x) = 3,57$ та $\sum o_B(x) = 4,36$, відповідно сума значень переоцінювання була більшою за суму значень параметра недооцінювання $u_B(x)$. Відповідно суми значень оцінки становили $\sum score(S^+) = u_B(x) - o_B(x) = 0,46$, де $u_B(x) > o_B(x)$ та $\sum score(S^-) = o_B(x) - u_B(x) = 1,25$, де $u_B(x) < o_B(x)$. Таким чином оцінки експертів були такими, що завищували результати студента у більшій пропорції, ніж занижували. Тому інтегральна оцінка знизилася порівняно з результатами застосування методу без урахування суб'єктивізму експертів. Значення третьої альтернативи становили $\sum u_B(x) = 3,71$ та $\sum o_B(x) = 3,53$, тобто сума параметрів недооцінювання $u_B(x)$ була більша за суму параметрів переоцінювання $o_B(x)$. Крім цього, сума функцій оцінки параметрів із характеристиками $u_B(x) > o_B(x)$ також була більшою, ніж із характеристиками $u_B(x) < o_B(x)$ і становили відповідно $\sum score(S^+) = u_B(x) - o_B(x) = 1,13$ де $u_B(x) > o_B(x)$ та $\sum score(S^-) = o_B(x) - u_B(x) = 0,69$, де $o_B(x) > u_B(x)$, що і призвело до підвищення

параметра (інтегральної оцінки). В результаті коригування значень на суб'єктивізм інтегральна оцінка призначена інструктором студенту була заниженою.

Зовнішнє коригування суб'єктивності є додатковим методом та використовується для вирівнювання оцінок через формулу невідповідності підсистем ранжування основній системі, тобто для врахування потенціалу альтернатив (студентів), які використовують отримані знання в навчальному закладі на практиці. Проте оцінені в підсистемах (компаніях) відповідно до їх цілей та пріоритетів без урахування академічної складової. Тому для ранжування альтернатив відповідно до академічних вимог навчальному закладу необхідно компенсувати невідповідність робочого місця студента спеціальності навчання.

Частина формули (2.13) $(1 - \phi(A_e^s))$ характеризує невизначеність π та недостатність інформації, оскільки в TOPSIS-методі альтернативи ранжуються в інтервалі $[0, 1]$ із використанням нечітких трапецієподібних чисел та відповідно до теорії інтуїціоністських нечітких множин, де коефіцієнт невизначеності $\pi_B(x) = 1 - \mu_B(x) - \nu_B(x)$. Коефіцієнт ν_s характеризує невідповідність профілю компанії програмі навчання в навчальному закладі (попередньо визначений за допомогою АНР методу). Вираз $\pi_a \cdot \nu_s$ характеризує частку невідповідності в невизначеності ранжування. Таким чином добуток значення ранжування альтернатив на коефіцієнт зростання невідповідності $((\pi_B(x) \cdot \nu_s) + 1)\phi(A_e^s)$ характеризує комплексну оцінку з урахуванням зовнішнього суб'єктивізму, який не залежить від суб'єктивізму експертів та є об'єктивно зумовленим спеціалізацією компанії. Тобто кінцеві інтегральні оцінки студентів були скориговані для відповідності їх освітній програмі навчального закладу. Коригування було зумовлене необхідністю компенсувати призначені вагові коефіцієнти критеріїв (компетенцій) та підкритеріїв (дисциплін) для врахування потенціалу студентів згідно з освітньою програмою навчального закладу.

Відповідно до шкали ECTS (табл.2.1) отримаємо такі нормовані оцінки: $\alpha(A_7^3)$ – добре (73), $\alpha(A_7^1)$ – задовільно (64) і $\alpha(A_7^2)$ – достатньо (59).

Дуальна система освіти є важливим чинником економічного розвитку в країнах її функціонування, оскільки студент є одночасно працівником компанії. Розроблений метод управління людськими ресурсами в дуальній системі дозволить покращити ефективність її функціонування через встановлення зворотного зв'язку між компанією та навчальним закладом.

У країнах із давньою традицією дуального навчання (Німеччині, Швейцарії, Австрії) компанії відіграють важливу роль в оцінюванні та визначенні навчального процесу. Зокрема у Німеччині роль компаній є домінуючою у визначенні навчального процесу та оцінюванні студентів.

Запропонований метод оцінювання долучає компанії до впливу на навчальний процес в умовах українських реалій масовізації вищої освіти. Запропонований модифікований метод TOPSIS, елементи нечіткої логіки та метод аналізу ієрархії дозволили створити основу для методу оцінювання навчання студента в компанії, який дозволяє визначити інтегральну оцінку й компенсувати суб'єктивні фактори, які її спотворюють. Застосування методів побудованої моделі в контексті оцінювання навчання у дуальній системі є новим у науковому дискурсі.

Висновки до другого розділу

Дослідження у даному розділі опубліковані у працях [19], [21], [23], [130].

1. У розділі формалізовано навчальний план у дуальній системі навчання. Визначено компонент “завдання” як такий, що об'єднує локації, навчання в компанії з академичною освітою в навчальному закладі. Компонент “завдання” пов'язаний із такими складовими, як компетенції та навчальні дисципліни спеціальності. Окреслена формалізація забезпечить збереження академічного навчання при паралельному навчанні в компанії.

2. Розроблено метод оцінювання навчання студента в компанії. В розділі проведено модифікацію методу багатокритеріального аналізу TOPSIS, який модифіковано для врахування невідповідності підсистем (компаній) ранжування спільній системі. Розроблено метод визначення суб'єктивності експертів із

використанням в основі інтуїціоністських множин та метод модифікації нечітких трапецієподібних чисел. Розроблені критерії (компетенції) та підкритерії (дисципліни) ранжування альтернатив (оцінок студента за виконані завдання). Результати застосування методу оцінювання навчання студентів (альтернатив) до модифікації $A_1^1 = 0,59$, $A_1^2 = 0,60$, $A_1^3 = 0,55$, після врахування суб'єктивізму $A_1^1 = 0,59$, $A_1^2 = 0,55$, $A_1^3 = 0,58$, після врахування невідповідності підсистем ранжування $A_1^1 = 0,64$, $A_1^2 = 0,59$, $A_1^3 = 0,73$. Таким чином, продемонстровано, що суб'єктивні фактори чинять значний вплив на результат прийнятого рішення.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ДУАЛЬНОЇ ОСВІТИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ КОМПАНІЇ

У розділі розроблено модель оптимізації вартості навчання в компанії в інформаційних процесах дуальної освіти. В основі моделі використано метод аналізу ієрархій для пріоритезації компетенцій в цільовій функції. Розроблено модифікацію методу аналізу ієрархій для урахування дорадчої думки експерта при ранжуванні компетенцій програми спеціальності. Розроблено модель інформаційних процесів обрання дисципліни за вибором. В основі моделі використано метод багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішення VIKOR. Розроблено модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму освіти з урахуванням впливу альтернатив ранжування на формування рейтингу.

3.1. Модель оптимізації витрат компанії на навчання студента в інформаційних процесах дуальної освіти

Дослідження, представлене в даному розділі, опубліковано в роботі [109].

Оптимізація вартості навчання студента в компанії в інформаційних процесах дуальної освіти є задачею класу управління людськими ресурсами (далі УЛР), оскільки студент, навчаючись паралельно в компанії, є працівником, який виконує посадові обов'язки, генеруючи продуктивність для загального доходу фірми.

Оптимізація вартості навчання студента в компанії як компонент інформаційної технології в складі таких компонентів, як інформаційний портал, онлайн щоденник навчання, технологія оцінювання, СДН (система дистанційного навчання), компоненту підтримки прийняття рішення обрання предмета за вибором освітньої програми спеціальності, база даних, компоненту вступу абітурієнта є необхідними інструментами в епоху трансформаційної економіки індустрії 4.0 для дуальної освіти. Компонент оптимізації вартості навчання інформаційної технології є програмним сервісом підтримки прийняття рішень.

Загальну архітектуру компонента оптимізації вартості навчання представимо таким чином:

- Збирання даних через застосунок від компанії та навчального закладу для параметризації задачі, параметризація цільової функції та обмежень задачі.
- Опрацювання даних за заданим програмним алгоритмом оптимізації.
- Представлення даних через інтерфейс інформаційного порталу дуального навчання.

У науковому дискурсі питанню управління людськими ресурсами (далі УЛР) присвячено чимало праць. Зважаючи на велику кількість публікацій щодо питання УЛР, варто відзначити різні аспекти дослідження даного питання. Проаналізуємо дослідження оптимізації різних аспектів задач УЛР.

Науковці [163] у своїй роботі досліджують проблему компетенцій, які необхідні компанії, та ті, що їй доступні. Модель, представлена в дослідженні, допомагає визначити необхідне додаткове навчання для здобуття затребуваних навиків працівниками.

У роботі [58] досліджено моделі оптимізації включення необхідних затрат і часу на перехресне навчання різнопрофільних спеціалістів при обчисленні планування ресурсів. До недоліків запропонованих моделей автори відносять втрату продуктивності під час перехресного навчання.

Автори [61] оптимізують продуктивність персоналу, використовуючи АНР та DEA методи. У представленій роботі аналізуються фактори, що впливають на продуктивність персоналу банків. Дослідження сфокусоване на оцінюванні наявної продуктивності та шляхи її підвищення.

У роботі [63] автори використовують мурашиний алгоритм оптимізації при вирішенні проблеми добору та укомплектуванні команд персоналу особами, що приймають рішення. В дослідженні робиться акцент на стадії рекрутингу задачі УЛР.

У статті [90] автор досліджує залежність готовності працівників навчатися в компанії від стимулу використати отримані знання для започаткування власної

справи. Дане дослідження зосереджене на мотивації працівників проходити внутрішньофірмове навчання.

У роботі [105] досліджено аспект проблеми УЛР, який полягає в неспівпаданні потреб та пропозиції на ринку праці в сфері послуг. У дослідженні використовується змішана модель цілочислового програмування для вирішення даної проблеми. Акцентовано на навчанні мультикваліфікованих працівників для подолання дифіциту кадрів у часи сезонності.

Автори у своїй статті [153] розглядають проблему рекрутингу персоналу. Науковці представляють модель прогнозування та оптимізації успішного найму працівників як інструмент підтримки прийняття рішення.

В роботі [104] розглянуто оптимізацію проблеми вибору портфеля проектів, урахувуючи розвиток компетенцій та економічну ефективність від їх виконання працівниками. Оптимізаційна задача в роботі описується нелінійною змішаною цілочисловою функцією оптимізації. Недоліком запропонованої моделі є необхідність урахування невизначеності часу та вигод при виконанні проекту.

У [174] розглянуто питання успішної реалізації ІТ проекту через вибір та доповнення компетенцій працівників. У своєму підході автори використовують змішану процедуру верифікації на заміну класичному математичному програмуванню.

Науковці у [77] пропонують мульти-оптимізаційну модель для управління плануванням портфолію ІТ проекту та відбору працівників для його виконання. При цьому автори зауважують, що одним із подальших розширень такої моделі могло б бути додавання параметрів забування при навчанні та взаємного впливу команд проекту на ефективність його виконання.

У згаданих дослідженнях оптимізуються такі аспекти задачі УЛР, як рекрутинг працівників, проблеми мотивації, мультикваліфіковане навчання персоналу, оптимізація ефективності, проблеми компетенцій. У роботі [24] автори визначили нумераційні множини компонентів, що визначають відповідність компетенцій випереджаючим потребам розвитку інформаційних систем, проте у продемонстрованій моделі оптимізації програми навчання студента не

деталізовані обмеження, методи пріоритезації їх взаємозв'язок. У даному дослідженні ставим за завдання розроблення адаптаційної моделі, як інструмента впливу на формування контенту навчання студента в компанії у кожному плановому періоді й розроблення взаємозв'язку між цільовою функцією пріоритезації та обмеженнями задачі оптимізації, їх конкретизації. У попередньо проаналізованих роботах в основному увага зосереджена на оптимізації компетенцій, підвищенні кваліфікації працівників новими навиками під час виконання певних проектів. Тобто фокус направлений на правильний підбір персоналу для виконання актуальних завдань. У науковому дискурсі недостатньо досліджень оптимізації компетенцій на стадії навчання працівників-студентів у міжгалузевих системах з урахуванням впливу зацікавлених сторін на їх здобуття (компанії та навчального закладу), їх вартості. Таким чином, виникає необхідність побудови моделі оптимізації вартості навчання студентів-працівників на підприємстві з урахуванням паралельного навчання в навчальному закладі. Необхідність зумовлена проблемами колаборації зацікавлених сторін у дуальній системі (домінування однієї з зацікавлених сторін у процесі навчання [95, 131] та зниження затрат [81] на нього в компанії при дотриманні балансу підготовки компетенцій згідно з освітньою програмою).

Ефективність роботи компанії розкривається в мінімізації витрат та максимізації вигод в усіх сферах діяльності фірми. Мінімізація витрат у навчанні, підготовці кадрів є складним завданням, оскільки від них залежить його якість.

Складність моделі оптимізації навчання студента в інформаційних процесах дуальної освіти полягає в балансі між виконанням програми навчання та задоволення власних потреб компанією, у спрямуванні навчання студента, враховуючи його продуктивне навантаження посадовими обов'язками. Компоненти, які є ключем до розв'язання даної задачі, є професійні компетенції програми спеціальності. Навчання та робота в компанії базується на професійних компетенціях спеціальності студента-працівника. Навчання в компанії відбувається одночасно з виконанням посадових обов'язків, тобто навчання через роботу, діяльність. Таким чином такий тип навчання збільшує продуктивність

фірми, примножуючи її вигоди. Зважаючи на вигоди, які фірма отримує від роботи студента-працівника, вона також несе додаткові витрати на рівні з зарплатою працівника. До таких витрат можна віднести: зарплата студента-працівника; зарплата навчального персоналу на підприємстві; оплата додаткових курсів навчання студента поза підприємством; витрати на утримання робочого місця працівника-студента (робочий інвентар та накладні витрати, витрати на брак продукції); додаткові витрати на навчання студента в навчальному закладі.

Конфігурація даних витрат і ресурсів їх забезпечення залежить від багатьох факторів, зокрема: наявність кваліфікованого навчального персоналу, наявність необхідних ресурсів, успішності самого працівника-студента. Ще один важливий елемент моделі оптимізації, від якого залежить ефективність навчання та витрати на нього, є час, затрачений на підготовку фахівця.

В системі дуальної освіти складова часу, як і компонент витрат, розділяється компанією із навчальним закладом. Від правильно виділеного обсягу часу на підготовку та його розподілу між професійними компетенціями залежить успіх навчання та продуктивність працівника. Ураховуючи прагнення компанії до максимізації вигод необхідно пам'ятати про дотримання стандартів академічної підготовки студента-працівника.

Завдання оптимізації показників навчання в дуальній освіті для компанії полягає в максимізації вигод через збільшення сукупної корисності, комбінації професійних компетенцій, за якими навчається студент-працівник. Водночас перед компанією стоїть дилема мінімізації витрат на підготовку. Для вирішення окреслених завдань компанії ми розробили математичну модель оптимізації витрат рис.3.1.

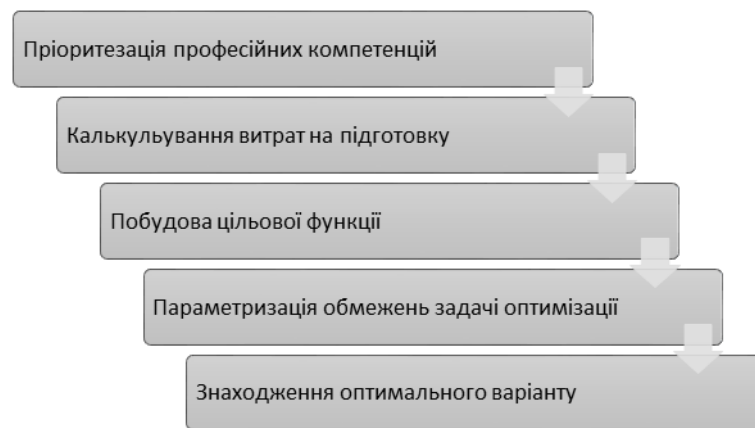


Рисунок 3.1 – Структура моделі оптимізації витрат в компанії

Таким чином, перший крок, представлений на рис.3.1, є пріоритезація професійних компетенцій, що задовольняють критерій корисності для компанії. Калькулювання витрат є необхідним етапом алгоритму, що передбачає визначення складових витрат з розрахунку на одиницю часу навчання в розрізі їх видів. Третім етапом є побудова цільової функції на основі результатів попередніх кроків алгоритму. Параметризація обмежень полягає у визначенні факторів, що мають визначальний вплив на формування оптимального плану навчання (обмеження вартості, часу підготовки).

Вирішення проблеми оптимізації навчання студента-працівника надасть компаніям інструмент впливу на навчання, будучи одночасно учасником академічного процесу (разом із навчальним закладом) та суб'єктом ринкових відносин, максимізуючи власну вигоду від реалізації навчання. Таке комплексне завдання процесу УЛР інтегрує окремі задачі категорії, як рекрутинг та навчання, в єдине ціле. Оптимізація навчання в компанії максимізує вигоди для фірми від його реалізації, зменшуючи його вартість та максимізуючи крисність.

Основними змінними та їх атрибутами математичної моделі витрат компанії будуть компетенції професійної програми спеціальності, корисність компетенцій навчання, вартість одиниці часу навчання, тривалість навчання.

Перший крок оптимізації передбачає пріоритезацію компетенцій студента. Компетенції навчання студента є набором загальних та професійних навичок, умінь, знань, вирішення завдань, які відповідають освітній програмі

спеціальності. Для забезпечення інтеграції навчання пріоритезація професійних компетенцій відбувається в рамках освітньої програми спеціальності. Очевидно, що цінність кожної компетенції для роботодавця буде різною залежно від рівня розвитку підприємства, профілю його діяльності, актуальних задач та викликів. Пріоритезація компетенцій є визначенням їх корисності для компанії, ранжуючи від найменш корисних до найбільш потрібних. На даному етапі для розв'язання задачі можна використовувати, зокрема, методи багатокритеріального аналізу рішень. Залежно від актуального стану компанії в кожен період планування навчання та роботи студента-працівника підприємство може змінювати конфігурацію багатокритеріальної задачі. Тобто під впливом різних факторів у компанії є можливість адаптувати вибір комбінації компетенції навчання кожного планового періоду. Серед методів багатокритеріального аналізу рішень можна виділити такі, як TOPSIS [110, 171], TODIM (an acronym in Portuguese of Interactive and Multicriteria Decision Making) [99–100], VIKOR [150] MOORA [70], ELECTRE [89]. Дані методи використовують різний алгоритм розрахунку значень від еталонного показника або визначення їх взаємного домінування. Використання таких методів доцільне у випадку великої кількості критеріїв ранжування. Також дані методи є багатоетапними та громіздкими в розрахунках. В даній роботі розглянуто задачу однокритеріального ранжування компетенцій освітньої програми із поділом на групи ранжування, тому доцільним буде використання методу попарного порівняння аналізу ієрархій. АНР метод попарного порівняння був запропонований Т. Сааті [156]. Метод аналізу ієрархій використовується для попарного порівняння альтернатив за шкалою від 1 до 9. Використання методу АНР у класичній формі не враховує невизначеності при прийнятті рішення, пов'язаною із недостатністю інформації. Одні з перших досліджень модифікації методу з використанням fuzzy sets описані в роботах [127] та [74]. АНР метод був модифікований із використанням triangular fuzzy numbers. У дослідженні [126] використовуються intuitionistic fuzzy sets як розширення методу АНР для кар'єрного планування. У роботі [118] АНР метод розширюється застосуванням у попарному порівнянні interval type 2 fuzzy sets. У

даній роботі для врахування невизначеності при прийнятті рішення експертом ми використовуємо АНР метод із використанням trapezoidal fuzzy numbers, що використовується в роботі [180].

Алгоритм методу аналізу ієрархій такий [39]: окреслення проблеми ранжування; побудова ієрархії критеріїв ранжування; побудова матриць попарного порівняння; перевірка наявності в матрицях попарного порівняння $n(n-1)/2$ суджень; розрахунок узгодженості матриць суджень; виконання ієрархічного синтезу власних векторів із вагами критеріїв, обчислення суми рівнів ієрархії; визначення узгодженості усієї ієрархії ранжування. Попарні порівняння в методі Т. Сааті є судженнями, які представляють матрицю $A(a_{ij})$ з одиничною діагоналлю, a_{ij} – представляє співвідношення відповідних оцінок елементів i та j , які змінюються від одиниці до величини, що дорівнює кількості факторів. Приклад матриці попарних порівнянь:

$$A(a_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & a_{ij} & a_{ij} & a_{ij} \\ a_{ij} & 1 & a_{ij} & a_{ij} \\ a_{ij} & a_{ij} & 1 & a_{ij} \\ a_{ij} & a_{ij} & a_{ij} & 1 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Застосуємо АНР метод із використанням нечітких трапецієподібних чисел та шкалою відносної важливості альтернатив, запропонованою в роботі [180] (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Шкала відносної важливості попарного порівняння АНР

Шкала відносної важливості	Трапецієподібні нечіткі числа	Лінгвістичні змінні
1	(1, 1, 1, 1)	Однаково важливі
3	(2, 5/2, 7/2, 4)	Не дуже важливий
5	(4, 9/2, 11/2, 6)	Суттєво важливий
7	(6, 13/2, 15/2, 8)	Дуже важливий
9	(8, 17/2, 9, 9)	Абсолютно важливий
x = 2, 4, 6, 8 є перехідними шкалами (x- 1, x - 1/2, x + 1/2, x +1)		

На першому етапі математичного моделювання оптимізації витрат компанії розділимо компетенції на три групи за ознакою подібності програмних результатів та класу компетенцій (загальних та професійних). Визначимо відносну корисність компетенцій освітньої програми методом Trapeziodal fuzzy АНР для компанії за формулою (за прикладом [74])

$$U_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \square \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}, \quad (3.2)$$

де M – нечіткі трапецієподібні числа, i – й g об'єкт ранжування, j – цілі.

У даній роботі запропоновано визначати корисність компетенцій освітньої програми у два етапи: 1. Спочатку експерт компанії (інструктор) ділить на групи професійні компетенції за ознаками подібності програмних результатів та класу компетенцій. За допомогою формули (3.2) та шкали ранжування нечітких трапецієподібних чисел, представлених у табл.3.1, експерт визначає відносну корисність компетенцій за допомогою попарного порівняння, формуючи матриці оцінки. 2. Експерт із навчального закладу здійснює аналогічну процедуру попарного порівняння методом trapeziodal fuzzy АНР компетенцій, які інструктор із компанії розбив на класифікаційні групи. Отримавши дві матриці попарного порівняння від інструктора та експерта з навчального закладу, необхідно врахувати призначені оцінки від навчального закладу. Зважаючи на протилежні цілі експертів із навчального закладу й компанії та, відповідно, враховуючи полярність призначених оцінок, метод групового експертного оцінювання із усередненням значень буде необ'єктивно відображати ваги попарного порівняння АНР (тому що середнє арифметичне значення враховує рівний вплив сторін на результат). Оскільки навчання буде проводитися в компанії, оцінки пріоритетизації компетенцій навчальним закладом слід враховувати як дорадчі та не на рівні з оцінками інструктора. Оцінки, призначені навчальним закладом, будуть відображати рекомендації компанії щодо підготовки компетенцій для студента відповідно до освітньої програми та об'єму навчального навантаження у закладі освіти. Відносні оцінки, призначені інструктором, відображають корисність

компетенцій для поточної діяльності компанії. За допомогою розробленої формули визначимо зважену оцінку, отриману від компанії та навчального закладу:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \square \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j - \left(\sum_{j=1}^m E_{g_i}^j - \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right) \right]^{-1}, \text{ якщо } \sum_{j=1}^m E_{g_i}^j > \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \\ U_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \square \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j + \left(\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j - \sum_{j=1}^m E_{g_i}^j \right) \right]^{-1}, \text{ якщо } \sum_{j=1}^m E_{g_i}^j < \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \end{array} \right., \quad (3.3)$$

де $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ – нечіткі трапецієподібні числа, призначені інструктором компанії;

$\sum_{j=1}^m E_{g_i}^j$ – нечіткі трапецієподібні числа, призначені експертом з навчального закладу.

На другому етапі математичного моделювання оптимізації витрат компанії визначаються складові витрат на підготовку навчання студента. Кожна компетенція із множини програми спеціальності навчання студента характеризується різною вартістю підготовки. Приміром, здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях та фахова компетенція здатність забезпечувати неперервність бізнесу згідно зівстановленою політикою інформаційної та/або кібербезпеки буде мати різну вартість підготовки. Вартість підготовки різних компетенцій програми залежить від технічної оснащеності компанії, кваліфікації персоналу, її фінансових ресурсів. Алгоритм калькуляції вартості підготовки одиниці часу професійної компетенції спеціальності буде таким: аналіз програми спеціальності навчання студента; аудит наявних ресурсів у компанії; визначення необхідної кваліфікації та спеціальності навчального персоналу; розрахунок оплати праці студента-працівника відповідно до продуктивності кваліфікованого персоналу компанії; розрахунок вартості оснащення робочого місця; розрахунок додаткових витрат (навчання в навчальному закладі); сумарна калькуляція витрат.

Навчання в навчальному закладі вимірюється згідно з ECTS (European Community Course Credit Transfer System) єдиної процедури оцінювання навчання. Рік навчання згідно з даною системою становить 60 кредитів, семестр відповідно 30 кредитів. Один кредит ECTS відповідає 30 навчальним годинам. Таким чином вартість підготовки буде здійснюватися з розрахунку на одну годину часу. Відповідно до такої системи обчислення вартість підготовки різних компетенцій буде варіюватися також від навчальних здібностей студента, його продуктивності, розвитку компанії. Зважаючи на дану особливість, така модель є адаптаційною, тобто такою, в якій можна змінювати конфігурацію розрахунку відповідно до кожного нового планового періоду навчання та роботи студента в компанії.

На третьому етапі математичного моделювання оптимізації витрат компанії побудуємо цільову функцію. Оптимізація навчання є не простим та комплексним завданням. Складність даної задачі полягає в збереженні балансу між комерційними потребами компанії та дотриманні академічної спрямованості, стандартів вимог навчання. Враховуючи дані обмеження, складові цільової функції будуть відображати корисність компетенції навчальної програми спеціальності, за якою студент навчається на дуальній формі навчання. Цільову функцію представимо у вигляді

$$\sum_{i=1}^n x_i U_i \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, n} \quad (3.4)$$

x_i – кількість годин i -ої компетенції; U_i – корисність i -ї компетенції для компанії.

Сукупною корисністю підготовки студента-працівника для компанії є добуток часу, виділеного на навчання у фірмі, на корисність кожної окремої компетенції. Корисність підготовки години часу для роботодавця визначається на першому етапі пріоритезації компетенцій професійної програми спеціальності, затвердженої в навчальному закладі. Представлена цільова функція відображає комбінацію часу підготовки студента-працівника в компанії з метою максимізації її корисності. Таким чином, компанія максимізує корисність попередньо

проранжованих компетенцій, при цьому беручи до уваги академічну складову навчання. Підприємство обирає компетенції в межах програми спеціальності навчального закладу, дотримуючись академічних вимог навчання.

Крім вимог освітньої програми важливим фактором є собівартість навчання компанії. Підготовці за кожною компетенцією відповідає окрема вартість навчання:

$$C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_ix_i + \dots + C_nx_n \leq F, \quad (3.5)$$

де C_i – вартість підготовки години часу i -ої компетенції; F – фонд грошових коштів компанії, виділений на підготовку персоналу.

Складові собівартості витрат на підготовку представимо у вигляді

$$C_i = \beta_{i,k} + a_i + \delta_i \quad (3.6)$$

де $\beta_{k,i}$ – витрати компанії на зарплату k -інструктору, за навчання i -ої компетенції; a_i – додаткові витрати в межах компанії на i -компетенцію; δ_i – додаткові витрати за межами компанії на i -компетенцію;

Навчання в компанії є регламентованим нормативно-правовими актами та державними законами, положеннями навчальних закладів. Крім цього, навчання в компанії регламентується тристороннім контрактом між студентом, навчальним закладом та компанією. Зокрема в Україні навчання за дуальною формою в компанії здійснюється в таких часових межах:

$$(0.40kE - 0.75kE); (0.25kE - 0.60kE), \quad (3.7)$$

де E – заліковий кредит ECTS (30 год), k – кількість навчальних кредитів виділених на рік згідно з освітньою програмою, відведених на підготовку студента в системі дуальної освіти (згідно з Законом України навчання в системі дуальної освіти між сторонами (компанією і навчальним закладом) розподіляється

в межах: від 25% до 60% в компанії, відповідно в навчальному закладі від 75% до 40%).

Таким чином, тривалість навчання в компанії у плановому періоді буде в межах

$$0.25kE \leq \sum_{i=1}^n x_i \leq 0.60kE, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3.8)$$

Дане обмеження навчання в компанії задає рамки загального часу підготовки в плановому періоді навчання – семестру, року. Враховуючи, що навчання в компанії є академічною практикою, необхідно дотримуватися балансу між розподілом часу серед різних компетенцій професійної програми спеціальності. Для забезпечення виконання такого обмеження необхідно задати мінімальний та максимальний час, що буде виділятися на підготовку однієї компетенції в компанії. При дотриманні академічних вимог межі мінімально та максимально допустимого часу навчання в компанії слід задавати, беручи до уваги аналогічні стандарти в навчальному закладі. Така потреба зумовлена також необхідністю збереження зв'язку між різними середовищами навчання (навчальним закладом та компанією).

Представимо обмеження мінімальної та максимальної тривалості підготовки компетенції студента-працівника в компанії у плановому періоді:

$$1E < x_i \leq 9E. \quad (3.9)$$

де E навчальний кредит 30 год.

Дане обмеження задає мінімальні вимоги підготовки студента з кожної компетенції, при цьому не перевищуючи заданий поріг часу.

Математична модель оптимізації витрат в компанії має вигляд

$$\begin{cases} x_1U_1 + x_2U_2 + \dots + x_{n-1}U_{n-1} + x_nU_n \rightarrow \max \\ C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3 \dots C_{n-1}x_{n-1} + C_nx_n \leq F \\ 0.25kE \leq \sum_{i=1}^n x_i \leq 0.60kE \\ 1E < x_i \leq 9E, \quad i = \overline{1, n} \quad x_i \geq 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

Впровадження запропонованої моделі допоможе більш раціонально витрати кошти компанії на навчання фахівця в компанії і таким чином підвищити мотивованість компанії до участі в дуальній освіті. Запропонована модель оптимізації дозволяє гнучко налаштовувати параметри відповідно до кожного планового періоду навчання – семестру, року. Відповідно до змін, що відбуваються в середині та зовні суб'єкта господарювання, можливе коригування та налаштування оптимізаційної моделі до потреб фірми, не ліквідовуючи при цьому академічних вимог навчання.

Продемонструємо застосування розробленої моделі. Визначення корисності компетенцій проводилось інструкторами компанії у сфері кібербезпеки освітньої програми спеціальності 125 «Кібербезпека» дуальної форми освіти Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя. Інструкторами компанії було поділено 9 компетенцій освітньої програми спеціальності на три класи за ознакою важливості та освітнім контентом компетенцій. Результати оцінювання інструктором компанії компетенцій освітньої програми спеціальності представлено в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Оцінки призначені інструктором методом Trapezoidal fuzzy АНР

1 група (ФК – фахові компетенції)			
ФК2	(1;1;1;1)	(1;3/2;5/2;3)	(2;5/2;7/2;4)
ФК5	(1/3;2/5;2/3; 1)	(1;1;1;1)	(1;3/2;5/2;3)
ФК10	(1/4; 2/7; 2/5;1/2)	(1/3;2/5;2/3;1)	(1;1;1;1)
2 група (ФК – фахові компетенції)			
ФК4	(1;1;1;1)	(3;7/2; 9/2;5)	(4;9/2;11/2;6)

ФК8	(1/5;2/9;2/7;1/3)	(1;1;1;1)	(1;3/2;5/2;3)
ФК6	(1/6;2/11;2/9;1/4)	(1/3;2/5;2/3;1)	(1;1;1;1)
3 група (ЗК – загальні компетенції)			
ЗК2	(1;1;1;1)	(2;5/2;7/2;4)	(3;7/2; 9/2;5)
ЗК4	(1/4; 2/7; 2/5;1/2)	(1;1;1;1)	(2;5/2;7/2;4)
ЗК5	(1/5;2/9;2/7;1/3)	(1/4;2/7;2/5;1/2)	(1;1;1;1)

У таблиці 3.3 представлені оцінки, призначені експертом із навчального закладу аналогічним компетенціям.

Таблиця 3.3 – Відносні оцінки призначені експертом навчального закладу методом Trapeziodal fuzzy АНР

1 група (ФК – фахові компетенції)			
ФК2	(1;1;1;1)	(2;5/2;7/2;4)	(1/4;2/7; 2/5;1/2)
ФК5	(1/4; 2/7; 2/5;1/2)	(1;1;1;1)	(1/3;2/5;2/3; 1)
ФК10	(2;5/2;7/2;4)	(1;3/2;5/2;3)	(1;1;1;1)
2 група (ФК – фахові компетенції)			
ФК4	(1;1;1;1)	(1/5;2/9;2/7;1/3)	(1/4;2/7;2/5;1/2)
ФК8	(3;7/2; 9/2;5)	(1;1;1;1)	(1/3;2/5;2/3; 1)
ФК6	(2;5/2;7/2;4)	(1;3/2;5/2;3)	(1;1;1;1)
3 група (ЗК – загальні компетенції)			
ЗК2	(1;1;1;1)	(3;7/2; 9/2;5)	(4;9/2;11/2;6)
ЗК4	(1/5;2/9;2/7;1/3)	(1;1;1;1)	(1;3/2;5/2;3)
ЗК5	(1/6;2/11;2/9;1/4)	(1/3;2/5;2/3; 1)	(1;1;1;1)

У таблиці 3.4 представлені оцінки, які скориговані за допомогою формули 3.3 (зважені оцінки із урахуванням дорадчої думки експертів начального закладу), із порівнянням зваженого середнього групового методу.

Таблиця 3.4 – Порівняння оцінок інструктора скоригованих за допомогою формули (3.3) із методом групового середнього

1 група (ФК- фахові компетенції)					Середні значення
ФК 2	0,22	0,32	0,64	0,92	0,52
Середнє ФК 2	0,23	0,32	0,59	0,80	0,48
ФК 5	0,12	0,18	0,38	0,57	0,32
Середнє ФК 5	0,12	0,16	0,31	0,44	0,26
ФК 10	0,15	0,20	0,32	0,45	0,28
Середнє ФК 10	0,17	0,24	0,45	0,62	0,37
2 група (ФК – фахові компетенції)					
ФК 4	0,27	0,34	0,52	0,65	0,45
Середнє ФК 4	0,26	0,33	0,51	0,64	0,43
ФК 6	0,11	0,13	0,19	0,24	0,17
Середнє ФК 6	0,15	0,20	0,35	0,47	0,30
ФК 8	0,13	0,19	0,34	0,45	0,28
Середнє ФК 8	0,18	0,24	0,40	0,52	0,33
3 група (ЗК – загальні компетенції)					
ЗК2	0,39	0,51	0,87	1,05	0,70
Середнє ЗК2	0,38	0,49	0,78	0,95	0,65
ЗК4	0,17	0,22	0,36	0,44	0,30
Середнє ЗК4	0,15	0,20	0,33	0,42	0,27
ЗК5	0,08	0,09	0,13	0,16	0,12
Середнє ЗК5	0,08	0,09	0,13	0,17	0,12

Як бачимо із таблиці 3.4, результати коригування оцінок інструктора в порівнянні з методом групового середнього (коли береться середнє арифметичне оцінки інструктора та експерта з навчального закладу) більш зважені, з меншою дисперсією коливання значень від оцінок, призначених тільки інструктором, які беруться за основу.

Відповідно до результатів, представлених у таблиці, порядок ранжування об'єктів буде такий:

$\Phi K4 > ЗК2 > \Phi K2 > \Phi K5 > ЗК4 > \Phi K8 > \Phi K10 > \Phi K6 > ЗК5$ – результати ранжування інструктором.

$ЗК2 > \Phi K2 > \Phi K4 > \Phi K5 > ЗК4 > \Phi K10 > \Phi K8 > \Phi K6 > ЗК5$ – результати ранжування інструктором із коригуванням експертом з навчального закладу.

$ЗК2 > \Phi K2 > \Phi K4 > \Phi K10 > \Phi K8 > \Phi K6 > ЗК4 > \Phi K5 > ЗК5$ – результати методом зваженого групового середнього.

Після визначення інструктором компанії відносних ваг попарного порівняння методом АНР груп, на які були поділені компетенції, оцінки з урахуванням ваг першої, другої та третьої груп відповідно 0,45; 0,41; 0,12 будуть: $\Phi K2 > \Phi K4 > \Phi K5 > \Phi K10 > \Phi K8 > ЗК2 > \Phi K6 > ЗК4 > ЗК5$.

В таблиці 3.5 представлені кінцеві значення корисності компетенцій для роботодавця.

Таблиця 3.5 – Оцінки корисності із врахуванням ваг груп компетенцій

ФК 2	23,84	ФК 10	12,88	ФК 6	7,06
ФК 4	18,56	ФК 8	11,49	ЗК 4	3,62
ФК 5	14,41	ЗК 2	8,51	ЗК 5	1,44

Отримавши значення відносної корисності компетенцій для компанії та, відповідно, розрахувавши вартість підготовки кожної з них у табл. 3.6, побудуємо оптимізаційну задачу.

Таблиця 3.6 – Вартість підготовки компетенції грн/год для компанії

ФК 2	85	ФК 10	85	ФК 6	80
ФК 4	82	ФК 8	77	ЗК 4	75
ФК 5	73	ЗК 2	80	ЗК 5	70

Для спрощення представлення задачі оптимізації представимо $x_2=x_1$, $x_4=x_2$, $x_5=x_3$, $x_{10}=x_4$, $x_8=x_5$, $x_{2.2}=x_6$, $x_6=x_7$, $x_{4.4}=x_8$, $x_{5.5}=x_9$.

Дана математична модель належить до класу задач лінійного цілочисельного програмування. Зважаючи на специфіку обмежень та умов реалізації моделі, був проведений додатковий аналіз методів лінійної оптимізації. Оскільки навчальні плани формуються у відповідності з виділенням на кожну дисципліну певну кількість навчальних кредитів, кратність яких становить 0,5 та відповідно 15 год, розв'язком даної задачі буде цілочислове значення, кратне 15 годинам. Зважаючи на дану особливість, був складений алгоритм частково цілочислового методу лінійного програмування в програмному середовищі Python для розв'язання поставленої задачі.

Цільова функція та обмеження задачі оптимізації вартості навчання буде мати вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 23,84 + x_2 18,56 + x_3 14,41 + x_4 12,88 + x_5 11,49 + \\ + x_6 8,56 + x_7 7,06 + x_8 3,62 + x_9 1,44 \rightarrow \max \\ x_1 85 + x_2 82 + x_3 73 + x_4 85 + x_5 77 + \\ + x_6 80 + x_7 80 + x_8 75 + x_9 70 \leq 59000 \\ 450 \leq \sum_{i=1}^n x_i \leq 1080 \\ 30 < x_i \leq 270, \quad i = \overline{1, n} \quad x_i \geq 0. \end{array} \right.$$

де i – номер фахової компетенції.

Задача оптимізації полягає в максимізації сукупної корисності компетенцій та мінімізації сукупної вартості підготовки компетенцій освітньої програми. Обмеження задачі полягають у неперевищенні сумарної тривалості підготовки компетенцій граничних (1080 год) меж та дотримання сумарного мінімуму часу

підготовки (450 год). Крім цього, час підготовки однієї компетенції також має бути в межах не менше 30 та не більше 270 годин.

У результаті застосування оптимізаційного алгоритму в програмному середовищі Python отримаємо результат: на річну підготовку одного студента-працівника компанія витратить 58 830 грн, 720 годин із яких на кожну компетенцію $x_2=270$ год, $x_4=240$ год, $x_5=30$ год, $x_{10}=30$ год, $x_8=30$ год, $x_{2.2}=30$ год, $x_6=30$ год, $x_{4.4}=30$ год, $x_{5.5}=30$ год, при цьому досягаючи максимального ефекту корисності в 12675 ютилів.

Таким чином за допомогою побудованої моделі оптимізації вартості навчання компанія максимізує сумарну корисність від множини компетенцій у межах встановленого бюджету навчання та обмежень часу.

Поставлена задача оптимізації вартості навчання розв'язана в цілому. Апробація моделі була проведена на прикладі компанії у сфері кібербезпеки. Відповідно до визначених параметрів вартості години підготовки компетенцій освітньої програми та корисності компетенцій отримано оптимальний результат, який максимізує корисність та задовольняє межі виділеного фонду витрат на навчання на підприємстві.

Використання даної моделі для різних підприємств буде давати окремий конкретний результат залежно від параметрів корисності та вартості підготовки компетенції для окремого підприємства. Таким чином конкретна параметризація обмежень вартості години підготовки компетенції освітньої програми та визначення корисності кожної компетенції для конкретного підприємства буде давати конкретний оптимальний результат.

3.2. Модель інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти

Підтримка прийняття рішення в системі дуальної освіти є комплексним завданням, оскільки студент у дуальній системі є одночасно працівником у компанії. Зважаючи на даний факт, рішення, які приймаються в дуальній системі, мають враховувати інтереси усіх зацікавлених сторін. До зацікавлених сторін у

даній системі, як уже зазначалося, належать: компанія, навчальний заклад, студент. Одним із рішень, яке має суттєвий вплив на процес навчання та роботу студента в дуальній системі, є вибір ним додаткових предметів навчального плану. Обрані додаткові дисципліни мають враховувати не тільки бажання студента, але й інтереси компанії та навчального закладу, їх дорадчу думку. Таким чином прийняте рішення має бути зваженим та брати до уваги думку стейкхолдерів, їх знання.

Для вирішення завдання побудови моделі інформаційних процесів обрання дисципліни за вибором найкраще підходять методи багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень, структура яких дозволяє комплексно визначити рекомендовану альтернативу. Методи багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень використовують множину критеріїв для ранжування альтернатив. Пріоритезація альтернатив відбувається через знаходження відстані від ідеально негативного, ідеально позитивного значення критерію у методах TOPSIS [110, 171], VIKOR [150], CODAS [119] або визначення міри домінування альтернатив шляхом їх порівняння TODIM [99-100], ELECTRE [155], PROMETHEE [69]. Дані методи розглядають критерії, які є єдиними для усіх альтернатив, тобто коли альтернативи, що ранжуються, належать одній системі критеріїв. Проте на практиці оцінювання альтернатив може відбуватися експертами, проектними групами, відділами, які спеціалізуються на певній стороні проблеми комплексного оцінювання (із власною системою критеріїв) або обмеженим набором критеріїв оцінювання через вузьку спеціалізацію. Тобто альтернативи можуть проходити ранжування у різних системах спеціалізації оцінювання. Враховуючи таку особливість виникає необхідність розроблення методу багатокритеріального аналізу прийняття рішень, який агрегував би різні критерії, що оцінюються експертами різних підсистем, та спеціалізації. Для вирішення такого завдання розглянемо метод багатокритеріальної оптимізації VIKOR, успішне застосування якого можна зустріти в понад 13 сферах, зокрема таких, як інформаційні технології, фінансовий менеджмент; здоров'я, безпека та медицина; будівельна та транспортна інженерія; логістика та багато інших [103].

В науковому дискурсі розроблені різні модифікації методу VIKOR. У дослідженні [136] автори розглядають VIKOR-метод із використанням імовірнісних лінгвістичних терм-множин та їх нових модифікацій. У роботі [101] розглядається VIKOR-метод із використанням імовірнісного набору термів подвійної ієрархії для призначення експертами оцінок. У роботі [134] VIKOR-метод використовується із методами визначення суб'єктивних і об'єктивних ваг. У дослідженні [158] автори використовують нечіткі трапецієподібні числа для здійснення ранжування альтернатив методом VIKOR. У роботі [116] автори пропонують новий метод вирішення групових багатокритеріальних проблем на основі ідеї VIKOR-методу. У роботі агрегуються та дефазифікуються нечіткі трапецієподібні оцінки експертів у цілі числа. Крім цього, індивідуальні матриці оцінки експертів трансформують у 2-tuple linguistic decision matrix. Компромісне рішення знаходять, порівнюючи значення 2-tuple linguistic values.

У проаналізованих роботах методом VIKOR акцент робиться на подоланні невизначеності й відповідно збільшенні точності призначених оцінок експертами для ранжування альтернатив через використання різних модифікацій призначення оцінок експертами. Відомим рішенням збільшення об'єктивності отриманих результатів у багатокритеріальних методах підтримки прийняття рішень є, зокрема, отримання агрегованої оцінки, яка визначена кількома експертами. Для зменшення ступеня суб'єктивізму експерти до етапу агрегації групових оцінок мають відповідати необхідним вимогам предметної галузі, галузей оцінювання альтернатив. Враховуючи дану вимогу, слід зазначити, що експерт не завжди може мати глибокі знання у кількох галузях. Зважаючи на таке обмеження, у даній роботі представимо алгоритм забезпечення та виконання такої вимоги, проранжовуючи альтернативи в окремих підсистемах експертів із подальшим виведенням інтегральної оцінки. Модифікуємо метод VIKOR для реалізації такого завдання із використанням інтуїціоністських нечітких множин.

Теорія інтуїціоністських нечітких множин була розроблена Атанасовим К. [60] для кращого позначення, формалізації нечіткої інформації, невизначеності, коли важко точно встановити належність елемента множині.

Характеристика інтуїціоністських нечітких множин подана у підпункті 2 розділу 2.

Алгоритм методу VIKOR (відповідно до праці [150]) наступний.

Визначення кращого та гіршого значення функцій усіх критеріїв $i=1,2,\dots,n$. Якщо i -та функція відображає позитивний критерій, тоді

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, \quad f_i^- = \min_j f_{ij}.$$

Визначення значень S_j та R_j , $j=1,2,\dots,J$ за допомогою

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-), \quad (3.11)$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)], \quad (3.12)$$

де w_i – вага відносної важливості критерію; f_{ij} – значення i -го критерію j -ї альтернативи.

Обчислення значень Q_j , $j=1,2,\dots,J$ відношенням

$$Q_j = \nu (S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - \nu) (R_j - R^*) / (R^- - R^*), \quad (3.13)$$

де $S^* = \min_j S_j$, $S^- = \max_j S_j$, $R^* = \min_j R_j$, $R^- = \max_j R_j$.

У даному відношенні ν є ваговим критерієм стратегії “більшості критеріїв” тобто “максимальної групової корисності”.

Ранжування альтернатив сортуванням значень S , R та Q у спадному порядку.

Вибір компромісного рішення альтернативи (a'), яка проранжована як краща з Q (мінімум), якщо наступні умови виконуються:

$$A) \quad Q(a'') - Q(a') \geq DQ, \quad (3.14)$$

де a'' – альтернатива другої позиції у проранжованому векторі Q ; $DQ = 1/(J-1)$, де J – кількість альтернатив.

В) Альтернатива a' має також мати кращі значення S і/або R .

Якщо одна із умов не виконується тоді пропонується множина компромісних рішень:

Альтернативи a' та a'' , якщо не виконується тільки умова В.

Альтернативи $a', a'', \dots, a^{(M)}$, якщо умова А не виконується. $a^{(M)}$ визначається відношенням $Q(a^{(M)}) - Q(a') \leq DQ$ для максимального M (позиції цих альтернатив є близькими).

Розробимо й застосуємо модифікований VIKOR метод для моделі інформаційних процесів обрання додаткових предметів за вибором студента, що навчається за дуальною формою освіти. Дана модель є компонентом інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти. Рішення, що приймаються в дуальній системі освіти, потребують узгодженості, оскільки їх наслідки впливають на усіх зацікавлених сторін: студента, навчальний заклад, компанію. Студент, навчаючись паралельно у двох локаціях, – навчальному закладі та компанії, при обранні дисциплін за вибором освітньої програми має враховувати, крім своєї думки, консультації представників навчального закладу, куратора групи та інструктора з компанії, у якій навчається студент. Крім цього, студент володіє обмеженою інформацією про характеристики курсів, які обирає, і може керуватися певним неформалізованим однокритеріальним вибором, зокрема інтуїційним. Сформулюємо критерії обрання предмета за вибором для студента та критерії дорадчих сторін: куратора з навчального закладу та інструктора з компанії (для студента четвертого курсу спеціальності “кібербезпека” Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, який навчається за дуальною формою освіти у компанії Cyberoo).

Студент.

- Інтерес до предмета.
- Контент курсу.
- Рівень базових знань для вивчення курсу.

Інструктор (компанія).

- Кваліфікація персоналу курсу.
- Контент курсу.
- Технічне забезпечення курсу.
- Корисність курсу для компанії.

Куратор (навчальний заклад).

- Кваліфікація персоналу курсу.
- Контент курсу.
- Структура курсу.
- Зв'язок курсу зі спеціалізацією.

Таким чином модель обрання студентом дисциплін за вибором об'єднує три підсистеми основних стейкхолдерів дуальної системи: студента, викладача (куратора із навчального закладу), інструктора (компанія). У кожній підсистемі представник стейкхолдера є експертом, що приймає рішення (по одному експерту у кожній підсистемі). Кожна підсистема має власний набір критеріїв ранжування спільних альтернатив.

Модифікуємо VIKOR метод, структурувавши оцінювання набору альтернатив (дисциплін за вибором) на три підсистеми оцінювання студента, куратора та інструктора з власними критеріями оцінювання (деякі з яких можуть дублюватися у підсистемах). Кожен із експертів – студент, куратор та інструктор ранжують альтернативи відповідно до заданих критеріїв своєї підсистеми. Коефіцієнт ν із формули (3.13), який характеризує стратегію максимальної групової корисності, підберемо у кожній підсистемі ранжування залежно від вагових коефіцієнтів підсистем. Алгоритм підбору коефіцієнта ν буде такий: 1. Розділимо шкалу від 0,00 до 1,00 на таку кількість інтервалів, яка буде відображати кількість підсистем ранжування (у даному випадку 3). 2. В межах даних інтервалів виберемо значення коефіцієнтів у кожній підсистемі, кожен інтервал буде належати окремій підсистемі в порядку зростання при спаданні значень вагових коефіцієнтів підсистем. Таким чином, при ваговому коефіцієнті підсистеми 0,53 вибираємо значення в межах інтервалу від 0,00 до 0,33; при значенні вагового коефіцієнта 0,36 значення ν буде в межах від 0,33 до 0,66.

Такий алгоритм забезпечить при вищому ваговому коефіцієнті акцентувати увагу на альтернативі, у якій не буде в наборі критеріїв критично малих значень, враховуючи її важливість. Проранжуємо альтернативи у кожній підсистемі, використовуючи інтуїціоністські множини та шкалу (табл. 3.7), представлену в роботі [155]:

Таблиця 3.7 – Шкала оцінювання альтернатив

Лінгвістичні терми	IFNs
Надзвичайно добре (EG)	[1.00; 0.00; 0.00]
Дуже добре (VG)	[0.85; 0.05; 0.10]
Добре (G)	[0.70; 0.20; 0.10]
Середньо погано (MB)	[0.50; 0.50; 0.00]
Погано (B)	[0.40; 0.50; 0.10]
Дуже погано (VB)	[0.25; 0.60; 0.15]
Надзвичайно погано (EB)	[0.00; 0.90; 0.10]

Відстані між оцінками альтернатив інтуїціоністськими множинами розрахуємо за формулами (згідно праці [149]), модифікуючи складові (3.11), (3.12):

$$\begin{aligned} (f_i^* - f_{ij}^-) &= \sqrt{(\mu_B^* - \mu_B^-)^2 + (v_B^- - v_B^*)^2}, \\ (f_i^* - f_{ij}^+) &= \sqrt{(\mu_B^* - \mu_B^+)^2 + (v_B^+ - v_B^*)^2}. \end{aligned} \quad (3.15)$$

де μ_B - функція належності та v_B - функція неналежності альтернативи критерію відповідно до теорії інтуїціоністських множин (згідно праці [60]).

Вагові критерії альтернатив та підсистем визначимо за допомогою методу АНР [156] Т. Сааті. Для моделювання підтримки прийняття рішень студента при обранні предмета за вибором додамо додатковий крок у алгоритм VIKOR після визначення фінальних значень Q_j та вагових коефіцієнтів підсистем w_s . Розрахуємо середні зважені значення Q_j для кожної альтернативи із агрегацією їх з підсистем s (компанії, студента та навчального закладу) за формулою

$$M_j = \frac{\sum_{s=1}^n Q_{sj}(1-w_s)}{n}, \quad s = \overline{1, n}, \quad (3.16)$$

де M_j – агреговані зваженні значення Q_j – показників альтернатив ранжування (предметів за вибором), n – кількість підсистем; s – підсистема (компанія, студент, куратор); j – альтернатива (предмет) .

У табл. 3.8 представимо оцінювання альтернатив інтуїціоністськими множинами у трьох підсистемах: компанія, студент та навчальний заклад.

Таблиця 3.8 – Інтуїціоністські нечіткі оцінки альтернатив ранжування

Критерії/предмети	Організація баз даних та знань	Архітектура комп'ютерних систем	Основи та інструменти аналітичного опрацювання даних	Системне програмування й операційні системи
Студент				
Інтерес до предмета	[0.40; 0.50; 0.10]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]
Контент курсу	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.85; 0,05; 0.10]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]
Рівень базових знань для вивчення курсу	[0.40; 0.50; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.25; 0.60; 0.15]	[0.50; 0.50; 0.00]
Компанія				
Кваліфікація персоналу курсу	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.85; 0,05; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]
Контент курсу	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.85; 0,05; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]
Технічне забезпечення курсу	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]
Корисність курсу для компанії	[0.25; 0.60; 0.15]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.85; 0,05; 0.10]
Навчальний заклад				
Кваліфікація персоналу курсу	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.85; 0,05; 0.10]
Контент курсу	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.85; 0,05; 0.10]
Структура курсу	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.50; 0.50; 0.00]
Зв'язок курсу зі спеціалізацією	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.50; 0.50; 0.00]	[0.70; 0.20; 0.10]	[0.70; 0.20; 0.10]

Вагові коефіцієнти критеріїв у кожній підсистемі наведено у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Вагові коефіцієнти критеріїв підсистем

Студент	
Інтерес до предмета	0,43
Контент курсу	0,32
Рівень базових знань для вивчення курсу	0,23
Компанія	
Кваліфікація персоналу курсу	0,22
Контент курсу	0,28
Технічне забезпечення курсу	0,18
Корисність курсу для компанії	0,30
Навчальний заклад	
Кваліфікація персоналу курсу	0,22
Контент курсу	0,27
Структура курсу	0,17
Зв'язок курсу зі спеціалізацією	0,32

Значення коефіцієнтів S_j , R_j та Q_j , розраховані за формулами (3.11-13) у різних підсистемах, представимо у табл. 3.10. При цьому коефіцієнт ν у кожній підсистемі вибраний відповідно до ваг підсистем $w_1 > w_2 > w_3$. Відповідно перший пріоритет 0-0,33; другий 0,33-0,66; третій 0,66-100 (згідно з модифікацією розділяємо шкалу від 0 до 1,00 на кількість підсистем критеріїв ранжування). Таким чином коефіцієнт підсистеми компанії буде 0,30; студента 0,43; навчального закладу 0,67. При їх вагах: компанії (57) > студента (0,30) > навчального закладу (0,13).

Таблиця 3.10 – Дані коефіцієнтів альтернатив

Коефіцієнти/ альтернативи	Організація баз даних та знань	Архітектура комп'ютерних систем	Основи та інструменти аналітичного опрацювання даних	Системне програмування й операційні системи
Студент				
S	0,93	0,00	0,68	0,44

R	0,44	0,00	0,37	0,44
Q	1,00	0,00	0,79	0,77
Компанія				
S	0,76	0,50	0,51	0,33
R	0,43	0,30	0,28	0,22
Q	1,00	0,37	0,31	0,00
Навчальний заклад				
S	0,50	0,53	0,29	0,11
R	0,20	0,22	0,11	0,11
Q	0,88	1	0,54	0,00

Розрахуємо інтегровані значення Q_j із використанням вагових коефіцієнтів w_s за формулою (2.57). У результаті при вагових коефіцієнтах підсистем компанії – 0,57; навчального закладу – 0,13; студента – 0,30 отримаємо такі Q_j інтегровані значення M_j : Організація баз даних та знань – 0,63; Архітектура комп'ютерних систем – 0,34; Основи та інструменти аналітичного опрацювання даних – 0,38; Системне програмування й операційні системи – 0,22. Відповідно до значень, представлених коефіцієнтів найприйнятнішою буде альтернатива “Системне програмування і операційні системи”. Для порівняння застосованої модифікації встановимо коефіцієнт групової корисності v у підсистемах 0,5 як прийнято за замовчуванням і повторимо розрахунки. Відповідно отримаємо результати: Організація баз даних та знань – 0,62; Архітектура комп'ютерних систем – 0,34; Основи та інструменти аналітичного опрацювання даних – 0,34; Системне програмування й операційні системи – 0,17. Таким чином отримаємо невизначеність між кращою альтернативою серед предметів Архітектура комп'ютерних систем й Основи та інструменти аналітичного опрацювання даних, які будуть одночасно займати другу позицію у рейтингу. Отже, застосована модифікація усуває невизначеність надаючи перевагу альтернативі Основи та інструменти аналітичного опрацювання даних. Крім цього, слід зауважити, що якби ранжування відбувалося лише в підсистемі студента, кращою альтернативою

була б Архітектура комп'ютерних систем. Проте застосовуючи розроблену модель та модифікацію VIKOR, є можливість урахувати дорадчу думку експертів із підсистем компанії та начального закладу, які визначили кращою альтернативу Системне програмування й операційні системи, оскільки в їхніх підсистемах вона займає перше місце.

Таким чином, розроблено математичну модель підтримки прийняття рішень студента в системі дуальної освіти з обрання предметів спеціальності за вибором. Визначено критерії підсистем стейкхолдерів для задачі ранжування. У дослідженні модифіковано метод багатокритеріальної оптимізації VIKOR через виділення окремих підсистем та їх критеріїв. У кожній підсистемі експерти мають різний набір критеріїв, за допомогою яких оцінюють спільні альтернативи для різних підсистем із подальшим виведенням інтегральної оцінки. Такий підхід дає змогу фахово і точно оцінити альтернативи фахівцями в певній галузі, після чого вивести інтегровану оцінку, враховуючи результати оцінювання кожної підсистеми із власними критеріями. При такій модифікації методу експерти будуть давати точніші результати, оскільки критерії оцінювання будуть належати їх фаховій галузі чи інтересам. Для реалізації даної модифікації розроблено стратегію вибору коефіцієнта ν у методі VIKOR для кожної підсистеми ранжування альтернатив. Розроблено метод виведення інтегрованої оцінки альтернатив представленої модифікації методу VIKOR. Продемонстровано числовий приклад застосування розробленої моделі.

3.3. Модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання

Обрання абітурієнтом дуальної форми освіти є складним завданням, оскільки даний процес, на відміну від вступу до навчального закладу, є недостатньо формалізованим. У Законі України визначено, що дуальна форма освіти реалізується на умовах укладання тристороннього контракту між навчальним закладом, студентом та компанією. Вступ до вищого навчального закладу регулюється Наказом міністерства освіти і науки України “Про затвердження

Умов прийому на навчання для здобуття вищої освіти” [33], в якому, зокрема, регламентується конкурсний бал при вступі абітурієнта на перший курс навчання. Конкурсний бал (КБ) = $K1 \times П1 + K2 \times П2 + K3 \times П3 + K4 \times А + K5 \times МЛ + K6 \times ОУ$, складовими якого є:

- П1, П2 – оцінки зовнішнього незалежного оцінювання або вступних іспитів з першого та другого предметів.
- П3 – оцінки зовнішнього незалежного оцінювання або вступних іспитів з першого та другого предметів; оцінка зовнішнього незалежного оцінювання, вступного іспиту з третього (для вступу на навчання для здобуття ступеня молодшого бакалавра – другого) предмета або творчого конкурсу (за шкалою 100-200).
- А – середній бал документа про повну загальну середню освіту.
- ОУ – бал за успішне закінчення у рік вступу підготовчих курсів закладу вищої освіти для вступу до нього.
- МЛ – оцінка за мотиваційний лист, переведений у шкалу від 100 до 200. Невід’ємні вагові коефіцієнти К1, К2, К3, К4, К5, К6 встановлюються закладом вищої освіти з точністю до 0,01; К1, К2, К3 на рівні не менше, ніж 0,2 кожен; у разі проведення творчого конкурсу К3 не має перевищувати 0,25 (0,6 – для спеціальностей галузі знань 02 «Культура і мистецтво» та спеціальності 191 «Архітектура та містобудування»); К4 не може перевищувати 0,1; К5 не може перевищувати 0,01; К6 не може перевищувати 0,05. Сума коефіцієнтів К1, К2, К3, К4, К5, К6 для кожної конкурсної пропозиції має дорівнювати 1 [33].

Як бачимо із наведеної інформації, критерії вступу абітурієнта до вищого навчального закладу чітко формалізовані. На основі формули обчислення конкурсного балу вступника розраховується його позиція при ранжуванні відносно інших вступників. Аспект конкурсного балу регламентує критерії прийому абітурієнта до вищого навчального закладу.

В наказі про правила прийому регламентовано також наступне: пріоритетність – визначена вступником під час подання заяв черговість (де 1 є

найвищою пріоритетністю) їх розгляду у разі адресного розміщення бюджетних місць; заклад вищої освіти в Правилах прийому може передбачати встановлення локальних пріоритетностей для вступу на основі здобутого раніше освітнього ступеня або освітньо-кваліфікаційного рівня. Таким чином у даному Положенні визначений інструмент студента для рейтингування навчальних закладів шляхом призначення пріоритету. Даний інструмент є недостатньо надійним засобом ранжування для студента, оскільки призначення ним пріоритету може відбуватися на основі необґрунтованих фактів, неповних знань, інформації із сумнівних джерел. Дана оцінка потребує комплексного підходу зі структуруванням знань та методики їх оцінювання.

У дисертаційному дослідженні [26] розроблено комплексний підхід до оцінювання вибору навчального закладу. Інформаційні параметри науковець розділяє на такі категорії:

- загальна характеристика навчального закладу;
- адреса та місцезнаходження;
- управління навчальним закладом;
- кадрове забезпечення;
- матеріально-технічна база;
- навчально-методична база;
- інформаційне забезпечення;
- якість підготовки та використання випускників.

Даний підхід є обґрунтованим та комплексним, оскільки дані категорії пов'язані з системою параметрів, таких, як параметри оцінювання освітньої діяльності навчальних закладів згідно з «Програмою комплексної перевірки вищих навчальних закладів та професійних училищ»; параметри оцінювання освітньої діяльності навчальних закладів згідно з «Програмою перевірки дотримання вищими навчальними закладами та професійними училищами ліцензійних умов надання освітніх послуг; параметри оцінювання освітньої діяльності навчальних закладів згідно з «Положенням про акредитацію вищих навчальних закладів і спеціальностей у вищих навчальних закладах та вищих

професійних училищах»; параметри оцінювання освітньої діяльності навчальних закладів згідно з «Міжнародними програмами з оцінювання діяльності вищих навчальних закладів» [26].

У цьому дисертаційному дослідженні поставлено за мету розроблення моделі інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання. Тому необхідно окреслити критерії обрання студентом компанії, у якій він буде навчатися за аналогією навчання в закладі освіти, та критерії компанії для обрання студента і їх рейтингу. Постановка такого завдання лежить у площині застосування методів багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень. Складовими даної задачі є альтернативи, суб'єкти прийняття рішення, множина критеріїв оцінювання, якісні та кількісні властивості альтернатив оцінювання. Визначимо елементи для предметної області дуальної освіти процесу вступу абітурієнта на дану форму:

- альтернативи (компанії, студенти);
- суб'єкти прийняття рішень (компанії, студенти);
- критерії вибору компанії;
- критерії відбору абітурієнтів;
- якісні та кількісні характеристики компанії;
- якісні та кількісні характеристики абітурієнта.

У запропонованій моделі абітурієнт та компанія є одночасно альтернативами та суб'єктами прийняття рішень. Даний факт пояснюємо тим, що абітурієнт в даній моделі ранжує компанії, які пропонують навчання за дуальною формою освіти, в свою чергу, компанії ранжують абітурієнтів за сформованими критеріями. Компанії ранжують абітурієнтів, які включили їх до свого списку для ранжування. Тобто в тому випадку, коли абітурієнт розглядає компанію як потенційну для навчання. Взаємозв'язок операцій у моделі вступу такий:

Абітурієнт:

1. Формує критерії ранжування компаній.

Відбирає компанії для ранжування (ті, які потенційно розглядає для навчання).

Компанія:

2. Формує критерії відбору абітурієнтів.
3. Формує списки абітурієнтів для ранжування (тих, які включили дану компанію до свого списку ранжування).

Математичну модель вступу абітурієнта на дуальну форму навчання представимо у вигляді

$$\chi_{count}(\alpha_w(w_g^c)(\beta_v(v_k^c)(e_{jk}^c)), (\alpha_w(w_g^c)(\beta_v(v_l^c)(a_{cl}^j))) \quad (3.17)$$

де e_{jk}^c – оцінка, призначена c – компанією, j – студенту по k – критерію; v_k^c – ваговий коефіцієнт k – критерію, c – компанії; v_l^c – ваговий коефіцієнт, призначений компанією l – критерію студента; a_{cl}^j – оцінка j -студента по l – критерію, c – компанії; w_g^c – ваговий коефіцієнт, призначений c – компанією, g – групі критеріям; β_v – функція розрахунку ваг критеріїв; α_w – функція розрахунку ваг груп критеріїв; χ_{count} – функція багатокритеріального ранжування альтернатив.

Відповідно до представленої формули алгоритм розрахунку моделі вступу такий:

Абітурієнт.

1. Призначення нечітких оцінок по кожному критерію компаніям із множини.
2. Ранжування компаній відповідно до сформованих критеріїв.
3. Обчислення відносних оцінок компаніям.

Компанія.

4. Призначення нечітких оцінок абітурієнтам ранжування по кожному із сформованих критеріїв.
5. Розрахунок ваг критеріїв, сформованих компанією.
6. Розрахунок ваг груп критеріїв.

7. Включення проранжованих абітурієнтами відносних оцінок поточної компанії (відносно інших фірм множини) до загальної системи оцінок даної компанії.
8. Призначення ваг критеріям абітурієнта з вибору компанії.
9. Призначення ваг групам критеріїв абітурієнта.
10. Ранжування альтернатив (абітурієнтів) у агрегованій системі критеріїв методом багатокритеріального аналізу.

У даній моделі відносні оцінки ранжування компанії абітурієнтом виступають екстернальними оцінками всередині системи ранжування певної компанії. Тобто система критеріїв та, відповідно, оцінок ранжування абітурієнтів компанією включає критерії та оцінки ранжування абітурієнтом компаній. Така постановка задачі уможлиблює врахування думки, інтересу, бажання абітурієнта навчатися в певній компанії при визначенні його рейтингу в ній. Думка абітурієнта ґрунтується на системі критеріїв та методу відносного порівняння компаній за даними критеріями. При цьому оцінки студента в системі ранжування компанії є екстернальними, оскільки їх призначає студент. Відповідно компанія не може їх змінити. Проте компанія, ознайомившись із критеріями абітурієнта, може призначити їм свої ваги, відповідно підкреслюючи свої сильні сторони. Варто зазначити, що критерії абітурієнтів для ранжування компаній мають бути узгодженими, тобто такими, щоб компанія могла призначити їх ваги для всієї множини оцінок абітурієнтів ранжування. Таким чином, при незмінності оцінок, призначених абітурієнтом, компанія може визначити ваги критеріїв абітурієнта для гарантування обрання її саме по даних перевагах.

Визначимо критерії ранжування абітурієнтів компанією:

- Середній бал атестата.
- Бал сертифіката ЗНО.
- Результат співбесіди.
- Результат внутрішньофірмового тестування.
- Оцінка додаткових навиків та умінь.

Критерії обрання студентом компанії:

- Оплата праці.
- Гарантії працевлаштування.
- Умови праці.
- Пільги.
- Розташування.

На рис. 3.2 наведено агреговані критерії ранжування.

Продемонстровані критерії на рис. 3.2 можуть бути комплексними, зокрема критерій «Бал ЗНО» може включати кілька сертифікатів за вибором компанії. Критерій умови праці може поділятися на такі підкритерії, як колектив, режим роботи, робоче місце.

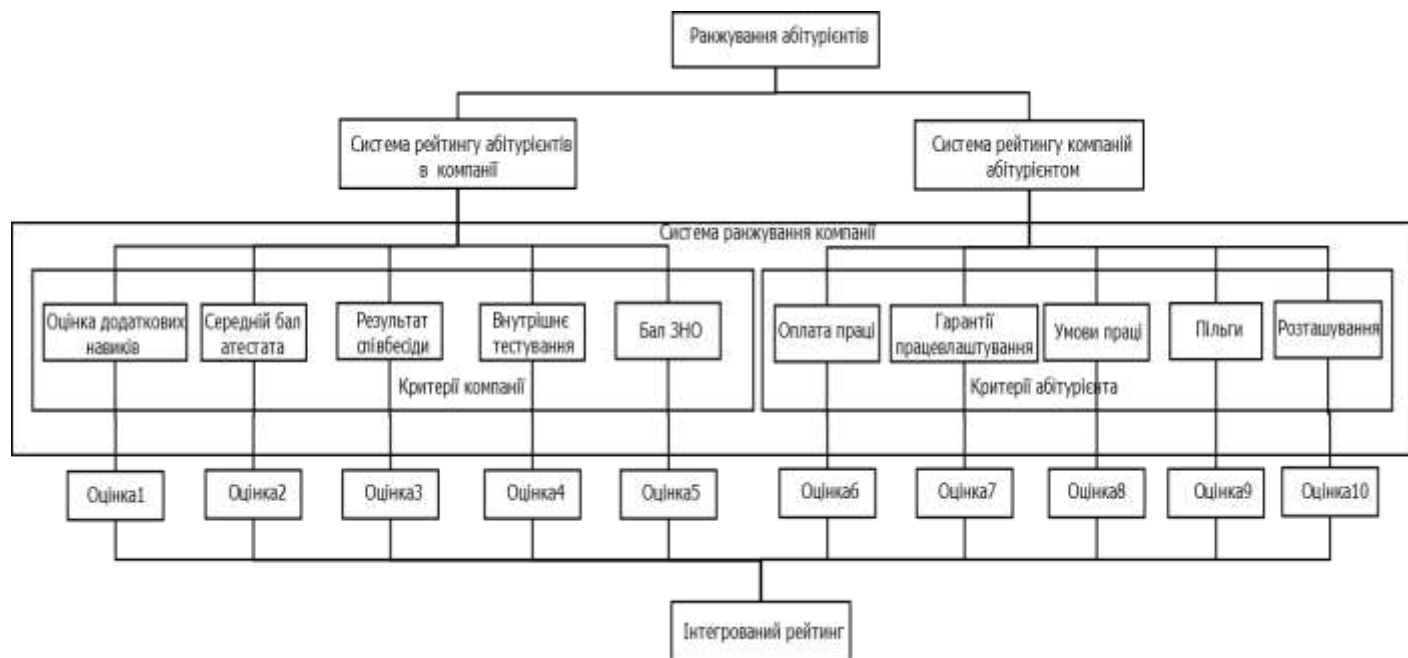


Рисунок 3.2 – Модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання

Критерій пільги може поділятися на оплату проїзду до роботи, оплату харчування, оплату мобільного зв'язку, додаткові вихідні дні. Для розрахунку рейтингу в моделі вступу абітурієнта на дуальну форму освіти найкраще підходять методи багатокритеріального аналізу, оскільки наявність таких елементів моделі, як множина критеріїв та альтернатив, а також наявність суб'єктів оцінювання відповідають інструментам розрахунку багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішення. Для ранжування

вибору компанії дуального навчання потрібно здійснити ранжування альтернатив для цього використовуються методи багатокритеріального аналізу, такі як наприклад VIKOR-TODIM. Однак відомі методи ранжують альтернативи в єдиній системі, а в моделі підтримки прийняття рішень вступу абітурєнта на дуальну форму навчання є дві підсистеми – абіурієнти і компанії.

Модифікуємо метод багатокритеріального аналізу VIKOR-TODIM для реалізації моделі та адаптації самого методу до розв'язання задач нового класу з урахуванням екстернальних змінних об'єкта ранжування стосовно самого суб'єкта. Зазначимо, що перевагою TODIM методу є врахування психологічної складової при ранжуванні за допомогою коефіцієнта, що відображає ставлення експерта до втрат (тобто наскільки експерт чутливий до ступеня домінування значень однієї альтернативи відносно іншої за j критерієм)

Основні кроки алгоритму методу VIKOR-TODIM відповідно до праці [135] такі:

1. Призначення нечітких оцінок альтернативам за сформованими критеріями, формування нечіткої матриці $D = (\beta_{ij})_{m \times n}$.
2. Нормалізація матриці D

$$\beta'_{ij} = \begin{cases} \beta_{ij}, & \text{для позитивних критеріїв;} \\ (\beta_{ij})^c & \text{для негативних,} \end{cases} \quad (3.18)$$

де $(\beta_{ij})^c$ є доповненням β_{ij} , $(\beta_{ij})^c = P(v_{\beta_{ij}}, \mu_{\beta_{ij}})$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) де β_{ij} - нечітка оцінка, i – номер альтернативи, j – номер критерію. Таким чином ми отримуємо нормалізовану матрицю $D' = (\beta'_{ij})_{m \times n}$.

3. Розрахунок ваг критеріїв $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ та їх нормалізація базуючись на цьому знаходимо відповідно вагу w_r еталон як $w_r = \max\{w_j | j = 1, 2, \dots, n\}$, тоді обчислюємо відносну вагу C_j критерія як $w_{jr} = \frac{w_j}{w_r}$, де w_j є вагою критерія C_j і $0 \leq w_j \leq 1$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

4. Розрахунок домінування альтернативи A_i над A_t відносно критерія C_j .
Домінування альтернатив розраховуєм

$$\phi_j(A_i, A_t) = \begin{cases} \frac{w_{jr} d(\beta'_{ij}, \beta'_{it})}{\sum_{j=1}^n w_{jr}}, & \text{якщо } score(\beta'_{ij}) > score(\beta'_{it}); \\ 0, & \text{якщо } score(\beta'_{ij}) = score(\beta'_{it}); \\ \frac{1}{-\theta} \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n w_{jr}\right) \frac{d(\beta'_{ij}, \beta'_{it})}{w_{jr}}}, & \text{якщо } score(\beta'_{ij}) < score(\beta'_{it}), \end{cases} \quad (3.19)$$

де $d(\beta'_{ij}, \beta'_{it})$ – різниця нечітких множин; θ – коефіцієнт ставлення експерта до втрат.

5. Розрахунок повного домінування альтернативи A_i відносно інших альтернатив A_t ($t = 1, 2, \dots, m$) за C_j критерієм:

$$\delta_j(A_i) = \sum_{t=1}^m \phi_j(A_i, A_t), \quad (3.20)$$

Таким чином отримуємо матрицю

$$D = [\bar{D}_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \sum_{t=1}^m \phi_1(A_1, A_t) & \sum_{t=1}^m \phi_2(A_1, A_t) & \dots & \sum_{t=1}^m \phi_n(A_1, A_t) \\ A_2 & \sum_{t=1}^m \phi_1(A_2, A_t) & \sum_{t=1}^m \phi_2(A_2, A_t) & \dots & \sum_{t=1}^m \phi_n(A_2, A_t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & \sum_{t=1}^m \phi_1(A_m, A_t) & \sum_{t=1}^m \phi_2(A_m, A_t) & \dots & \sum_{t=1}^m \phi_n(A_m, A_t) \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

6. Для кожного критерію знаходимо ідеально позитивне \bar{D}^* та ідеально \bar{D}^- негативне значення:

$$\begin{aligned} \bar{D}^* &= (\bar{D}_1^*, \bar{D}_2^*, \dots, \bar{D}_n^*) = \left(\max_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_1(A_i, A_t), \max_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_2(A_i, A_t), \dots, \max_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_n(A_i, A_t) \right), \\ \bar{D}^- &= (\bar{D}_1^-, \bar{D}_2^-, \dots, \bar{D}_n^-) = \left(\min_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_1(A_i, A_t), \min_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_2(A_i, A_t), \dots, \min_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_n(A_i, A_t) \right). \end{aligned} \quad (3.22)$$

7. Визначаємо компромісне рішення беручи до уваги максимальну групову корисність більшості S_i та мінімум індивідуального шкодування R_i ($i = 1, 2, \dots, m$):

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{d(\bar{D}_j^*, \bar{D}_{ij}^-)}{d(\bar{D}_j^*, \bar{D}_{ij}^*)} \quad (3.23)$$

$$R_i = \max_{j=1}^n w_j \frac{d(\bar{D}_j^*, \bar{D}_{ij}^-)}{d(\bar{D}_j^*, \bar{D}_{ij}^*)} \quad (3.24)$$

$$d(\bar{D}_j^*, \bar{D}_{ij}^-) = \max_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_j(A_i, A_t) - \sum_{t=1}^m \phi_j(A_i, A_t)$$

де

$$d(\bar{D}_j^*, \bar{D}_{ij}^-) = \max_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_j(A_i, A_t) - \min_{i=1}^m \sum_{t=1}^m \phi_j(A_i, A_t) \quad (3.25)$$

8. Розраховуємо відношення між S_i та R_i як Q_i

$$Q_i = \nu \frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} + (1 - \nu) \frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}, \quad (3.26)$$

де $S^- = \min_{i=1}^m S_i$, $S^* = \max_{i=1}^m S_i$, $R^- = \min_{i=1}^m R_i$ та $R^* = \max_{i=1}^m R_i$. Коефіцієнт ν відповідає за стратегію максимальної групової корисності, за замовчуванням приймається за 0,5.

Суть запропонованої модифікації описаного VIKOR-TODIM методу полягає у додаванні до формули $Q_i = \nu \frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} + (1 - \nu) \frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}$ додаткового виразу із коефіцієнтом ρ . Даний коефіцієнт буде дорівнювати $\nu + r + (1 - r - \nu) = 1$, $(1 - r - \nu) = \rho \leq 1$ де r позначимо коефіцієнт індивідуального шкодування, що у формулі (3.26) становить $(1 - \nu)$, та відповідатиме за обрання стратегії у методі екстернального впливу на ранжування, коли експерт вагається при здійсненні правильного вибору значення коефіцієнта групової корисності ν та

наявності зовнішніх відносно системи оцінок у ранжуванні. Таким чином математична модель вступу абітурієнта на дуальну форму навчання має вигляд

$$Q_i = \nu \frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} + r \frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} + (1 - \nu - r) \frac{E_i - E^-}{E^* - E^-}, \quad (3.27)$$

де $E^- = \min_{i=1}^m E_i$, $E^* = \max_{i=1}^m E_i$ – екстернальні критерії абітурієнта.

При цьому варто зазначити, що екстернальні критерії беруть участь у ранжуванні на всіх етапах разом із внутрішніми критеріями компанії, тобто критерії студента для обрання компанії ранжуються з критеріями обрання компанією абітурієнта. Проте значення $\frac{E_i - E^-}{E^* - E^-}$ будемо отримувати при повторному ранжуванні за всіма етапами VIKOR-TODIM у системі критеріїв абітурієнта при вагах, призначених компанією. Зазначимо, що значення E_i у підсистемі абітурієнта знаходимо відповідно за формулою 3.23 як і для S_i .

Розроблена модель вступу абітурієнта дозволить компаніям ранжувати абітурієнтів для укладання договору з тими, хто буде мати кращий результат відносно інших. При цьому модель дозволить урахувати побажання абітурієнта щодо навчання в конкретній компанії на основі його системи критеріїв та результатів ранжування множини компаній. Розроблена модель враховує критерії компанії при виборі абітурієнта та його бажання навчатись у конкретній компанії.

В даній моделі компанії також мають можливість призначення ваг критеріям відбору абітурієнта для підкреслення власних переваг.

Висновки до третього розділу

Дослідження у даному розділі опубліковані у працях [20], [109], [132].

1. Розроблено модель оптимізації вартості навчання в компанії в інформаційних процесах дуальної освіти. Цільова функція в представленій моделі максимізує корисність компетенцій попередньо проранжованих методом АНР. Модель оптимізації розроблена із дотриманням обмежень академічних вимог

навчання та з урахуванням обмежень бюджету компанії, виділеного на навчання в дуальній системі. Продемонстровано числовий приклад модифікації методу аналізу ієрархій у порівнянні з методом групового середнього, наведено числовий приклад оптимізації вартості навчання в компанії кібербезпеки. Результат ранжування $ЗК2 > ФК2 > ФК4 > ФК5 > ЗК4 > ФК10 > ФК8 > ФК6 > ЗК5$ з домінуванням впливу інструктора, результат групового середнього $ЗК2 > ФК2 > ФК4 > ФК10 > ФК8 > ФК6 > ЗК4 > ФК5 > ЗК5$, значення при модифікованому методі враховують думку інструктора компанії як домінуючу.

2. Розроблено модель інформаційних процесів обрання студентом предметів за вибором в основі моделі використано модифікований метод багатокритеріального аналізу VIKOR. Суть модифікації методу VIKOR у виділенні критеріїв підсистем ранжування та розробленні алгоритму призначення коефіцієнта групової корисності. В моделі окреслені критерії обрання предмета спеціальності стейкхолдерів процесу дуального навчання. Числовий приклад значень альтернатив VIKOR до розробленої модифікації: 1 – 0,63; 2 – 0,34; 3 – 0,38; 4 – 0,22, після 1 – 0,62; 2 – 0,34; 3 – 0,34; 4 – 0,17. Після модифікації була прибрана невизначеність між 2 та 3 альтернативами.

3. Розроблено модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання з урахуванням впливу абітурієнта на процес ранжування своєї позиції у компанії в основі розробленої моделі використано метод багатокритеріального аналізу VIKOR-TODIM із врахуванням розробленої його модифікації. Суть модифікації VIKOR-TODIM методу полягає у врахуванні впливу екстернальних даних на процес ранжування, тобто коли альтернатива є одночасно об'єктом та суб'єктом ранжування. Розроблені моделі використовуються для підтримки прийняття рішень стейкхолдерами дуальної форми здобуття освіти.

РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПОРТАЛУ ДУАЛЬНОГО НАВЧАННЯ

У розділі здійснено моделювання динаміки знаннєвих потенціалів у дуальній системі освіти. Проведено обґрунтування вибору засобів моделювання. Розроблено інформаційні моделі засобами мови моделювання UML: модель оцінювання навчання студента в компанії в системі дуальної освіти, модель оптимізації вартості навчання в компанії, модель обрання дисципліни за вибором, модель вступу абітурієнта на дуальну форму навчання. Формалізовано функціональну структуру веб-порталу дуального навчання, складових компонентів. Наведено інструменти програмної реалізації веб-порталу. Продемонстровано інтерфейс складових компонентів особистих кабінетів користувачів (студента, інструктора з компанії, куратора з навчального закладу) розробленого прототипу веб-порталу. Проілюстровано інтерфейс онлайн журналу навчання.

4.1. Моделювання динаміки знаннєвих потенціалів у системі дуальної освіти

Проведемо аналіз формування та здійснимо моделювання динаміки знаннєвих потенціалів в дуальній освіті для формалізації побудови моделей інформаційних процесів. Моделювання динаміки знаннєвих потенціалів допоможе визначити логіку їх формування і як наслідок професійних компетенцій для правильної побудови веб-порталу дуального навчання, інформаційних моделей його компонентів для коректної взаємодії стейкхолдерів.

Одним із завдань організації дуальної форми освіти є аналіз та дослідження формування особистісно-орієнтованої освітньої траєкторії особи – персональної освітньої (навчальної) програми особи в компанії, що забезпечує набуття нею професійних компетентностей, які відповідають її здібностям, інтересам, мотивації, психодинамічним та емоційним характеристикам, віку та рівню «знаннєвого потенціалу» (наприклад, у вигляді професійних навичок *hard skills* та соціальних навичок *soft skills* тощо). Формування особистісно-орієнтованої освітньої траєкторії особи має відбуватися на адаптивній основі з дотриманням

балансу між запитами замовників та особистими здібностями агента (студента). Розв'язання даної дилеми є ключем до ефективного оволодіння професійними компетентностями, які відповідають запитам актуального стану ринкового середовища. Формалізація процесу поширення знань за запитами замовника в дуальній освіті, побудова моделі процесу є важливим завданням, оскільки від ефективності моделювання знаннєвих процесів у даній системі залежить інтеграція промислового та освітнього сектора, як наслідок такої взаємодії – ефективне функціонування дуальної системи освіти. Необхідність побудови моделі поширення знань за запитами замовника зумовлена складністю інтеграції зацікавлених сторін у системі дуальної освіти (компанії та навчального закладу), зважаючи на домінування різних сторін залежно від країни реалізації, форми освіти, складності їх співпраці.

У зв'язку з цим розроблення сучасних моделей формування професійних компетентностей тощо, здатних вирішувати складні завдання, є необхідним і нагальним. У даному дослідженні ставиться завдання побудови моделі поширення знань, включаючи запиту замовника в системі дуальної освіти, що є важливим для теорії комп'ютерних. Результати даного дослідження опубліковані в роботі [67].

Аналіз досліджень [133, 137] показав, що головна увага вчених приділяється розробленню моделей, які відображають процеси взаємодії між об'єктами освітньої галузі та ринку праці, модернізацію освітніх програм, а також системи освіти в загальному. Водночас ці результати не можна безпосередньо використовувати на практиці в усіх випадках.

Агентно-моделюючий підхід для вивчення передавання знань використовували в своїх дослідженнях Morone & Taylor, Xuan, Hirshman, Giacchi та ін. Ці дослідження стосувалися переважно впливу властивостей мережі (групи агентів) на передавання знань всередині цієї мережі (організації). Зокрема, Morone & Taylor, використовуючи модель клітинних автоматів, вивчали, як знання розповсюджуються в мережі, в якій агенти взаємодіють через безпосереднє

спілкування. Їх результати показують вплив структури мережі на процес знань [98, 107, 146, 176].

У роботі [173] представлена вдосконалена модель гіпермережі з дифузією знань (IKDN), заснована на ідеї про те, що знання поширюватимуться від цільового вузла до всіх його сусідів з точки зору надмірного рівня та запасування знань. У даній роботі розглянуто модель поширення знань, що характеризується параметрами мережі та запасом знань агентів. Тобто дослідження зосереджене на властивостях мережі та агентів, швидкості передавання знань.

У дослідженні [172] автори пропонують модель передавання знань, розглядаючи механізм самонавчання та виводячи рівняння середнього поля, що описують динаміку процесу передавання знань.

Виходячи з того, що люди воліють поширювати знання своїм знайомим, у статті [181] запропоновано модель поширення знань альтруїстичного стимулювання (модель SIH). У даному дослідженні також розглянуто процес поширення знань у різних типах мереж на прикладі студентів різних курсів.

У моделі, запропонованій [98], агенти (вузли) передають знання на основі двох критеріїв: відстань знань та впевненість. Вони показують, що в більш розподіленій конфігурації мережі динаміка обговорення знань та рівень довіри спостерігаються набагато більше, ніж централізована структура [98].

Загалом, у досліджених моделях передавання знань знання представлено кількома способами: як запас (кожен агент має початковий рівень знань, який є цілим числом, вибраним випадковим чином із заданого діапазону), як дерево, де кожному вузлу відповідає трохи потенційних знань або як набір фактів, що характеризує матриця знань агента [59].

Аналізовані дослідження розглядають процес поширення знаннєвого потенціалу на певному абстрагованому рівні. Відсутні приклади досліджень поширення знань у специфічних сферах, зокрема у певних освітніх системах. Окремого розгляду потребує, система дуальної освіти, оскільки формування знаннєвого потенціалу в даній системі відбувається в двох різних середовищах. Ефективність функціонування даної системи визначається ступенем інтеграції

складових підсистем, співпраці зацікавлених сторін [95]. Дуальна система освіти відображає взаємодію освітнього сектора із промисловістю країни функціонування. Зв'язок у зростанні інновацій від поширення знань між навчальними інституціями та промисловістю досліджено у роботах [62, 138]. Зважаючи на важливість ефективного функціонування дуальної системи освіти, дослідження поширення знаннєвого потенціалу потребує окремої уваги в даній сфері. В існуючих дослідженнях не досліджено адаптивні характеристики освітніх об'єктів та відсутні моделі передавання знаннєвого потенціалу між суб'єктами різних освітніх середовищ. Тому є спроба описування інформаційних процесів поширення знаннєвого потенціалу у вигляді узагальненої дифузійноподібної моделі. Метою даної роботи є аналіз та побудова математичної моделі перерозподілу процесів потенціалу знань при формуванні системи професійних компетентностей агента з урахуванням запитів замовників в системі дуальної освіти.

Числова характеристика, за допомогою якої фіксується певний рівень знань особи, накопичена впродовж навчання, життєвого досвіду тощо, запропонована в роботах [66,68], означається «знаннєвим потенціалом» φ . Побудовані так звані, дифузійноподібні моделі інформаційних процесів перерозподілу знаннєвого потенціалу в освітньому соціокомунікаційному середовищі міста й акцентовано увагу на описуванні (моделюванні) процесів перерозподілу знаннєвого потенціалу при формуванні системи професійних компетентностей, зокрема з врахуванням впливу замовників (компаній). Зазвичай під компетентністю розумітимемо динамічну комбінацію знань, способів мислення, поглядів, цінностей, навичок, умінь, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно провадити професійну та/або подальшу навчальну діяльність [68].

Припускаємо, що та чи інша компетентність характеризується певним набором компонент знаннєвого потенціалу та їх складових. Через $\varphi_{q,l,k,m,\varepsilon}$ позначимо значення q -тої складової l -ї компоненти знаннєвого потенціалу k -го агента в m -й момент часу ε - збурюючий параметр ($l = \overline{1,l}, q = \overline{1,q}, k = \overline{1,k}$).

Наприклад, на рис.3.1 наведено деякі характеристики формування компетенцій на основі складових та компонент знаннєвого потенціалу моделі з урахуванням запитів замовників. На рис. 4.1 відображено формування компетенцій у системі дуальної форми освіти (у якій замовником виступає компанія, в якій паралельно з навчальним закладом навчається студент). Компетенції, що формуються в середовищі навчального закладу, трансформуються і доповнюються через розширення в середовищі компанії з урахуванням її запитів. Навчання в компанії відображає адаптивну сторону формування знаннєвого потенціалу за запитом актуального розвитку ринку праці, не витісняючи при цьому академічну складову навчання. Одночасне формування знаннєвого потенціалу в двох середовищах (компанії та навчальному закладі) за дуальною формою освіти мінімізує лаг в оновленні освітніх програм закладу освіти через ефективну інтеграцію та адаптацію навчання в двох середовищах.

У загальному, як і в роботі [68], множину можливих компонент складових знаннєвого потенціалу при заданому часовому ситуаційному стані можемо характеризувати деякою матрицею (двовимірним масивом (розміром $l_* \times q_*$)):

$$\begin{pmatrix} \varphi_{1,1,k,m}, & \varphi_{2,1,k,m}, & \dots, & \varphi_{q_*,1,k,m}, \\ \varphi_{1,2,k,m}, & \varphi_{2,2,k,m}, & \dots, & \varphi_{q_*,2,k,m}, \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ \varphi_{1,l_*,k,m}, & \varphi_{2,l_*,k,m}, & \dots, & \varphi_{q_*,l_*,k,m} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Множина можливих підмножин такого масиву [66, 68] асоціюватиметься із множиною усіх, набутих агентами під час навчання, компетентностей.

На рис. 4.2 зображено приклади деяких такого роду підмножин, які складають компетенції. На рис.4.2 зображено трансформацію розширення компетентностей в $t+1$ момент часу. Для спрощення зображення не вказуються збудуючі параметри ε та позначення k агента а приймається такими, що дані за замовчуванням.

На рисунку 4.2 бачимо, що в кожен наступний $m+1$ момент часу t_1, t_2, t_3 компетенції, які сформовані з компонентів знаннєвого потенціалу, розширюються, доповнюючись новими компонентами.

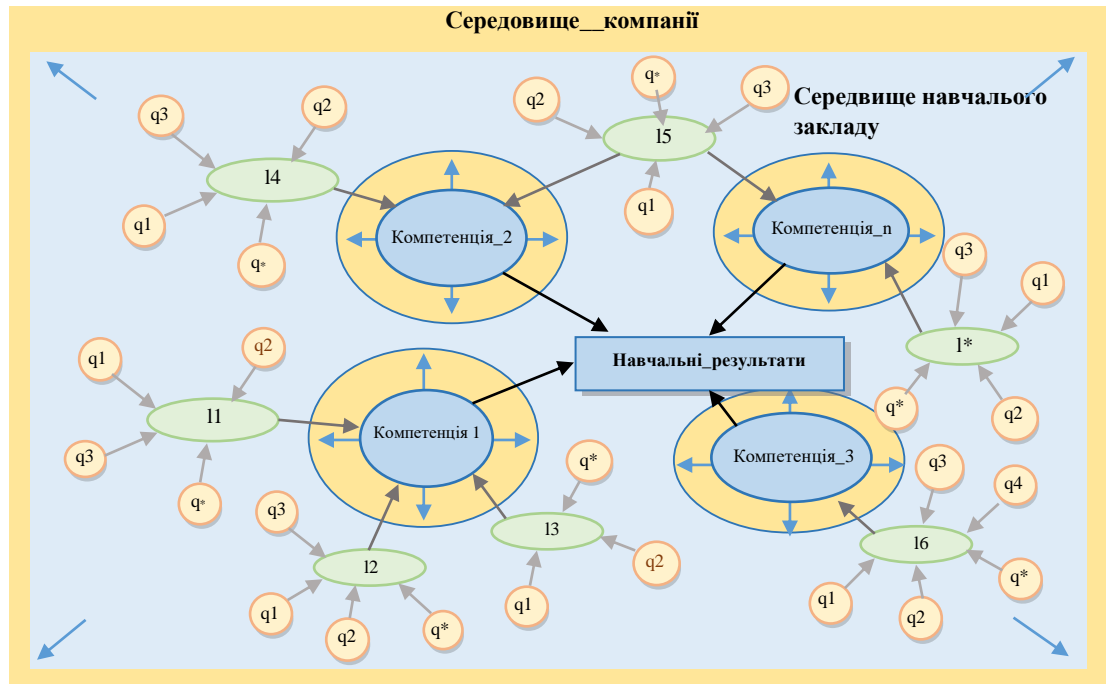


Рисунок 4.1 – Компоненти компетенцій та середовище їх набуття

Варто зазначити, що природа набуття знаннєвого потенціалу, зокрема формування компетенцій, відбувається через об'єднання компонентів знаннєвого потенціалу, які можуть бути спільними для різних компетенцій (тобто перекриватися). Підмножини компетенцій збільшуються з кожним наступним кроком, охоплюючи в підсумку усі елементи множини складових знаннєвого потенціалу. На (рис.4.2) проілюстровано складність формування підмножин компонентів знаннєвого потенціалу А, В, С через відображення їх об'єднання й перекриття фігурами довільної форми.

На рис. 4.3 проілюстровано процес формування компетенцій під кутом відображення їх розширення в динаміці певної спеціальності, що вивчається в навчальному закладі. У кожен момент часу схематично окреслено процес збільшення підмножин компетенцій та додавання нових до вже існуючих у $m+1$ момент часу.

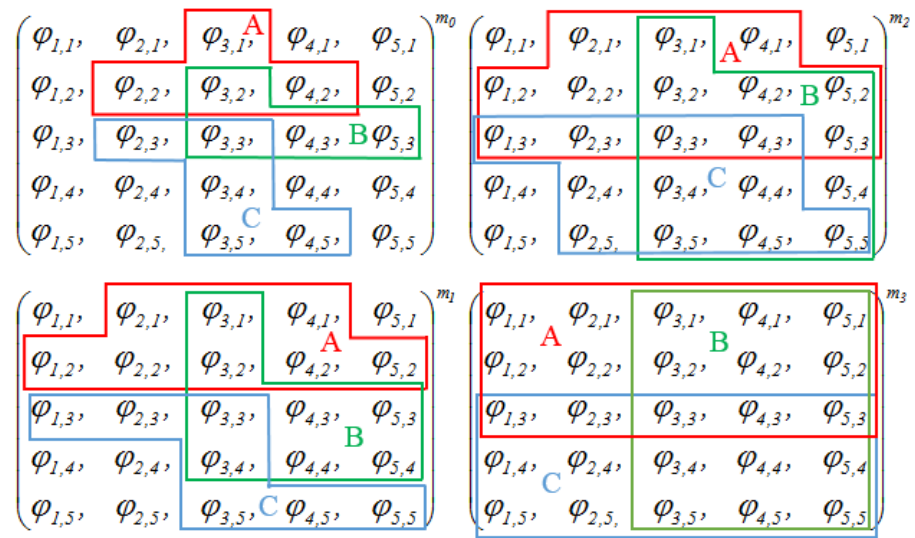


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення розширення професійних компетенцій

На рис. 4.3 зображено процес набуття компетенцій у навчальному закладі протягом періоду навчання їх розширення та появу нових на певних фіксованих етапах (курсу) здобуття освіти.

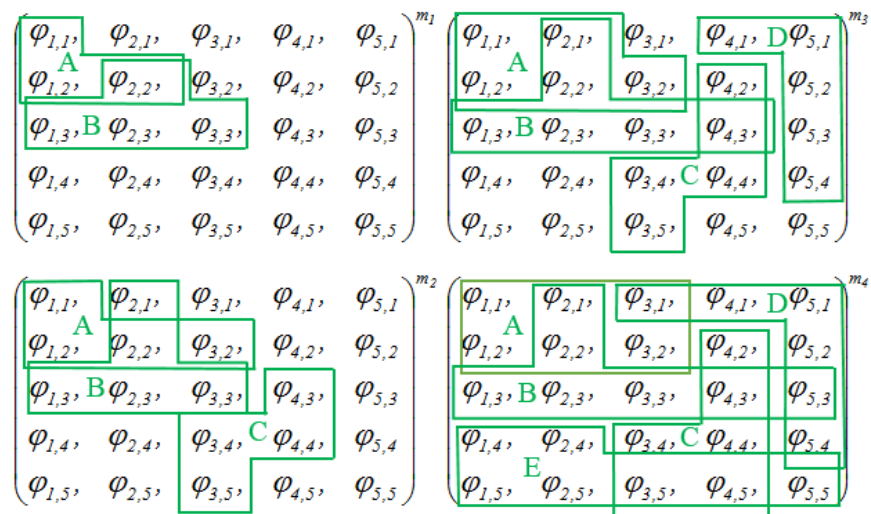


Рисунок 4.3 – Динаміка формування компетенцій у $m + 1$ момент часу

У цьому дослідженні ставимо задачу формувати такого роду підмножини, щоб задовольнялися певні оптимальні умови стосовно затрат на навчання та досягнення програмних результатів, зокрема з урахуванням потреб, що диктуються умовами стейкхолдерів.

Тобто суть задачі полягає в урахуванні запитів замовників у системі дуальної освіти на основі взаємодії сторін навчання через ефективну інтеграцію освітнього процесу в двох середовищах.

4.1.1. Математична модель процесу врахування запитів замовників

Набуття професійних компетентностей та реалізація програмних результатів навчання в моделі за запитом замовників (у системі дуальної освіти) відбувається в результаті чотирьох форм взаємодії [91, 147]:

Агент / Джерело знань (вчитель / викладач);

Агент / Агент;

Агент / Навчальний контент;

Агент / Компанія.

В даній роботі розглянуто не лише взаємодію між агентами (особами, що навчаються), джерелами знань, компанією та навчальним контентом, а й зворотні зв'язки між викладачами та агентами, компаніями (інструкторами), а також навчальним контентом, який використовується для підвищення рівня знаннєвого потенціалу (рис.4.4) за запитами замовника. Підвищення рівня знаннєвого потенціалу в системі дуальної освіти відбувається через зворотні зв'язки викладача та інструктора компанії з навчальним контентом, який освоює агент (студент) (рис.4.4). Ефективність навчання студента у двох середовищах залежить від ступеня інтеграції навчання в навчальному закладі та компанії. Дана синергія досягається зворотними зв'язками агента з викладачем та інструктором у компанії та взаємодією між викладачем і інструктором, опосередкованою спільною трансформацією навчального контенту. Математична модель навчання в дуальній освіті визначається параметрами, що задають пропорційний розподіл набуття знаннєвого потенціалу у двох середовищах (навчальному закладі та компанії). Ефективність даного навчання залежить від сталості зворотних зв'язків між компонентами та зацікавленими сторонами системи. Таким чином, моделювання динаміки знаннєвих потенціалів за запитом замовників окреслюється такими параметрами: розподілу набуття знаннєвого потенціалу між різними

середовищами, зворотними зв'язками між агентами та агентами і навчальним контентом.

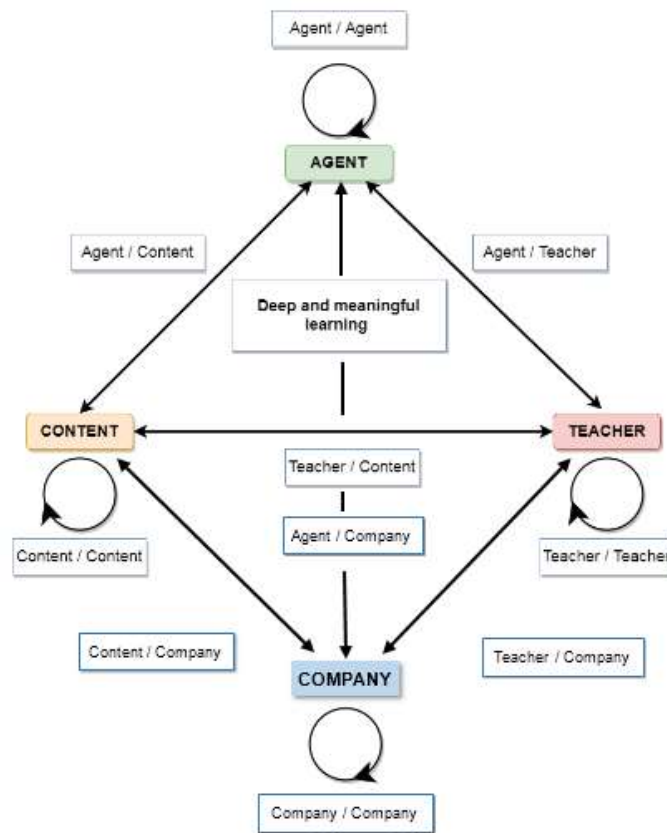


Рисунок 4.4 – Форми взаємодії між агентами, викладачами, компанією та навчальним контентом

Як і в роботі [66] процес перерозподілу «знаннєвого потенціалу» (врахування набутих знань) на наступному $(m+1)$ часовому етапі без урахування перерозподілу знань між агентами представимо у вигляді

$$\begin{aligned} \varphi_{q,l,k,m+1} &= \varphi_{q,l,k,m} + \alpha_{q,l,k,m+1} f_{*q,l,k,m+1} + \\ &+ (1 - \alpha_{q,l,k,m+1}) f_{q,l,k,m+1}^*, \quad 0 < \alpha_{q,l,k,m+1} < 1 \end{aligned} \quad (4.2)$$

де $f_{*q,l,k,m+1}$ – характеристика основного джерела знань (наприклад, вчителя, викладача тощо), а $f_{q,l,k,m+1}^*$ – замовника (інструктора з компанії), $\alpha_{q,l,k,m+1}$, та

$(1 - \alpha_{q,l,k,m+1})$ – відповідні вагові коефіцієнти, що, зокрема, характеризують частки знань, які набуває даний агент (учень, студент тощо) в даному році з відповідних підрозділів (навчальних планів, освітніх програм навчальних закладів у навчальному закладі, а також, відповідних планів компаній-замовників тощо). Дана конструкція забезпечує можливість адаптації академічної складової навчання до вимог та викликів, які студент має вирішувати на певному (передбачуваному) робочому місці (використовуючи набуті знання в навчальному закладі на практиці). Таким чином, навчання, наприклад, компанії за дуальною формою освіти адаптує та доповнює здобуті компетенції в навчальному закладі в першу чергу практичною складовою. Отримані компетенції відображають комплекс знань і здобутих навиків на практиці за запитами й вимогами компанії замовника (безумовно, що $f = \alpha f^* + (1 - \alpha) f_*$ – загальна характеристика двох типів джерел знань, що в чи не в певному випадку характеризує суть дуальності).

Можемо ще й безпосередньо (більш спрощено) формувати перерозподіли в часі складових компонент знанневих потенціалів, наприклад так:

$$\begin{aligned} \varphi_{q,l,k,1} &= \varphi_{q,l,k,0} + f_{q,l,k,1} = \varphi_{q,l,k,0} + \alpha_{q,l,k,1} f_{q,l,k,1}^* + (1 - \alpha_{q,l,k,1}) f_{q,l,k,1}^* \\ &\dots, \\ \varphi_{q,l,k,m+1} &= \varphi_{q,l,k,m} + \sum_{\tilde{m}=1}^{m+1} (\alpha_{q,l,k,m+1} f_{q,l,k,m}^* + (1 - \alpha_{q,l,k,m+1}) f_{q,l,k,m}^*), \end{aligned} \quad (4.3)$$

де $\varphi_{q,l,k,1} = \varphi_{q,l,k,m+1}^*$ – дискретна функція, що характеризує початковий рівень знань k -го агента, а індекси q та l пробігають задані множини значень (наприклад згідно з рис. 4.3).

З урахуванням складових компетенцій, параметри $\alpha_{q,l,k,\tilde{m}}$ підбиратимемо оптимально залежно від форми зворотних запитів агентів (стосовно професійної кваліфікації джерел знань) цілям і програмним результатам навчання, що характеризують необхідні фахові компетенції, а також оптимальні затрати. У

найпростішому випадку такі умови можуть бути сформовані у вигляді нерівностей

$$\underline{\varphi}_{q,l,k,m+1} < \varphi_{q,l,k,m+1} < \overline{\varphi}_{q,l,k,m+1}, \quad (4.4)$$

або (в розгорнутому вигляді)

$$\begin{aligned} \underline{\varphi}_{q,l,k,m+1} < \varphi_{q,l,k,0} + \sum_{\tilde{m}=1}^{m+1} (\alpha_{q,l,k,m+1} f_{q,l,k,m}^* + \\ + (1 - \alpha_{q,l,k,m+1}) f_{q,l,k,m}^*) < \overline{\varphi}_{q,l,k,m+1}, \end{aligned} \quad (4.5)$$

де $\underline{\varphi}_{q,l,k,m+1}$, $\overline{\varphi}_{q,l,k,m+1}$ – певні порогові значення компонент знаннєвого потенціалу та їх складових, що мають задовольняти програмним результатам навчання відповідної спеціальності.

Недоліком запропонованої моделі є те, що безпосередньо за формулами (4.3), (4.4), (4.5),... ми не “бачимо” компетентностей, набутих безпосередньо в навчальному закладі, фірмі сумісно. Отож у подальшому знаннєвий потенціал представлятимемо сумою

$$\varphi_{q,l,k,m} = \varphi'_{q,l,k,m} + \varphi''_{q,l,k,m} + \varphi'''_{q,l,k,m}, \quad (4.6)$$

де штрихами характеризуватимемо знаннєві потенціали, набуті відповідно в навчальному закладі, фірмі, сумісно.

На рис. 4.4 схематично зображено “кінцевий” ситуаційний стан, де такі характеристики зображені відповідно зеленим, синім та синьо-зеленим кольорами. Червоним кольором позначено компетенції, які потребує за запитом фірма.

У підпункті 1 третього розділу ми представили модель оптимізації вартості навчання в дуальній освіті. У даній моделі розглядалися затрати тільки зі сторони

компанії. Окреслимо модель оптимізації вартості навчання з урахуванням затрат також з боку навчального закладу.

Через $\beta'_{q,l,k,m}$ та $\beta''_{q,l,k,m}$ відповідно позначимо затрати на підготовку спеціаліста з боку навчального закладу та фірми.

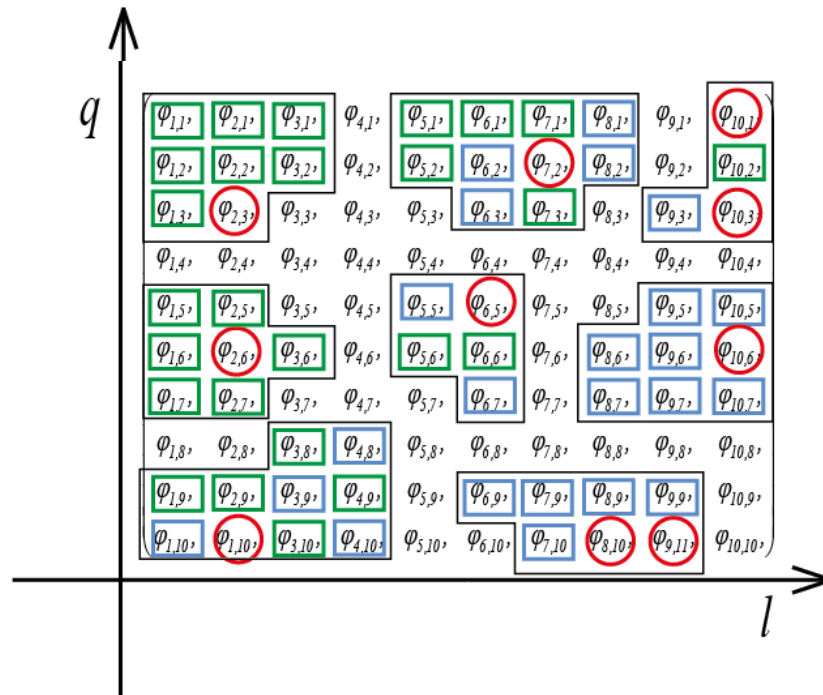


Рисунок 4.4 – Приклад ілюстрації “кінцевого” ситуаційного стану знаннєвих потенціалів, що враховує усі види набутих знань, де кружечками зображено “промахи” (пропущені компоненти знань, недостатня їх засвоюваність тощо)

Пропонуємо кілька варіантів конструкції цільової функції: представимо оптимізаційну задачу мінімізації витрат на підготовку агента (студента) за запитами замовника (в системі дуальній освіти) таким чином:

$$\sum_{\tilde{m}=1}^{m+1} (\beta'_{q,l,k,m} \alpha_{q,l,k,\tilde{m}} f_{*q,l,k,\tilde{m}} + \beta''_{q,l,k,m} (1 - \alpha_{q,l,k,\tilde{m}}) f_{q,l,k,\tilde{m}}^*) \rightarrow \min. \quad (4.7)$$

Враховуючи ще затрати на студента (зокрема стипендію), формулу 4.7 узагальнимо так:

$$\begin{aligned}
& \sum_{\tilde{m}=1}^{m+1} (\beta'_{q,l,k,m} \alpha_{q,l,k,\tilde{m}} f_{*q,l,k,\tilde{m}} + \\
& + \beta''_{q,l,k,m} (1 - \alpha_{q,l,k,\tilde{m}}) f_{q,l,k,\tilde{m}}^* + \\
& + \gamma'_{q,l,k,m} \varphi'_{q,l,k,m} + \gamma''_{q,l,k,m} \varphi''_{q,l,k,m} + \gamma'''_{q,l,k,m} \varphi'''_{q,l,k,m}),
\end{aligned} \tag{4.8}$$

де $\gamma'_{q,l,k,m}$, $\gamma''_{q,l,k,m}$, $\gamma'''_{q,l,k,m}$ - відповідні вагові коефіцієнти.

Якщо суть оптимізації витрат полягає в мінімізації часу підготовки агента з боку замовника у дуальній системі, то необхідно оптимізувати m . При цьому враховуємо обмеження відповідними інтервалами:

$$(0.40k_*E - 0.75k_*E); (0.25k_*E - 0.60k_*E), \tag{4.9}$$

де E – заліковий кредит ECTS (30 год), k_* – кількість навчальних кредитів, що містить q -та дисципліна, відведених на підготовку агента в системі дуальної освіти (згідно з Законом України навчання в системі дуальної освіти між сторонами (компанією і навчальним закладом) розподіляється в межах від 25% до 60% в компанії, відповідно в навчальному закладі – від 40% до 75%).

Зауважимо, що, наприклад, для фірми повинна виконуватися нерівність

$$\sum_{\tilde{m}=1}^{m+1} \beta''_{q,l,k,\tilde{m}} \alpha_{q,l,k,\tilde{m}} f_{*q,l,k,\tilde{m}} \leq F, \tag{4.10}$$

де F – фонд компанії, призначений для витрат на навчання персоналу.

Розв'язання відповідних задач дозволить враховувати запити замовника в процесі накопичення знаннєвого потенціалу, що надасть можливість замовнику впливати на кінцевий результат навчання агента (тобто адаптувати академічну складову навчання, при цьому мінімізуючи витрати замовника та максимізуючи вигоду від безпосередньої участі в навчанні агентів).

Зауваження. Аналогічно як і у працях [66, 68] враховуємо ще й дифузійний перерозподіл знаннєвих потенціалів за рахунок спілкування агентів між собою та знання, набуті в результаті впливу додаткових джерел інформації (телебачення, бібліотеки, приватні уроки тощо):

$$\begin{aligned} \varphi_{q,l,k,m+1} = & \varphi_{q,l,k,m} + \alpha_{q,l,k,m+1} f_{q,l,k,m+1}^* + (1 - \alpha_{q,l,k,m+1}) f_{q,l,k,m+1}^* + \\ & + \sum_{k=1}^{k^*} \delta_{q,l,k,k,m} (\varphi_{q,l,k,m} - \varphi_{q,l,k,m}) + \sum_{k=1}^{k_*} \delta_{q,l,k,k,m+1}^* f_{q,l,k,k,m+1}^*, \end{aligned} \quad (4.11)$$

де k^* , k_* – кількість агентів даного середовища (групи) та додаткових джерел інформації відповідно, а $\delta_{q,l,k,k,m}$, $\delta_{q,l,k,k,m}^*$ – коефіцієнти, що характеризують ефект передавання знань при спілкуванні, $f_{q,l,k,k,m+1}^*$ – додаткове джерел знань.

Проведене моделювання знаннєвих потенціалів у дуальній освіті, зокрема їх формалізація, призводить до розуміння формування професійних компетенцій. Визначення викладача та інструктора в компанії як джерел формування знаннєвих потенціалів студента дає змогу коректно побудувати веб-портал дуального навчання, інформаційні моделі його компонентів, формалізувати взаємодію стейкхолдерів в ньому.

4.2. Моделі компонентів інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти

Обґрунтування вибору засобів побудови інформаційних моделей концептуальних компонентів інформаційної технології дуальної форми освіти та особливості мови моделювання UML наведено в додатку Д.

Використаємо діаграму прецедентів для представлення загальної функціональності комплексної системи інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти. На рис. 3.5 представлена інформаційна технологія дуальної форми освіти у вигляді порталу дуальної форми навчання.

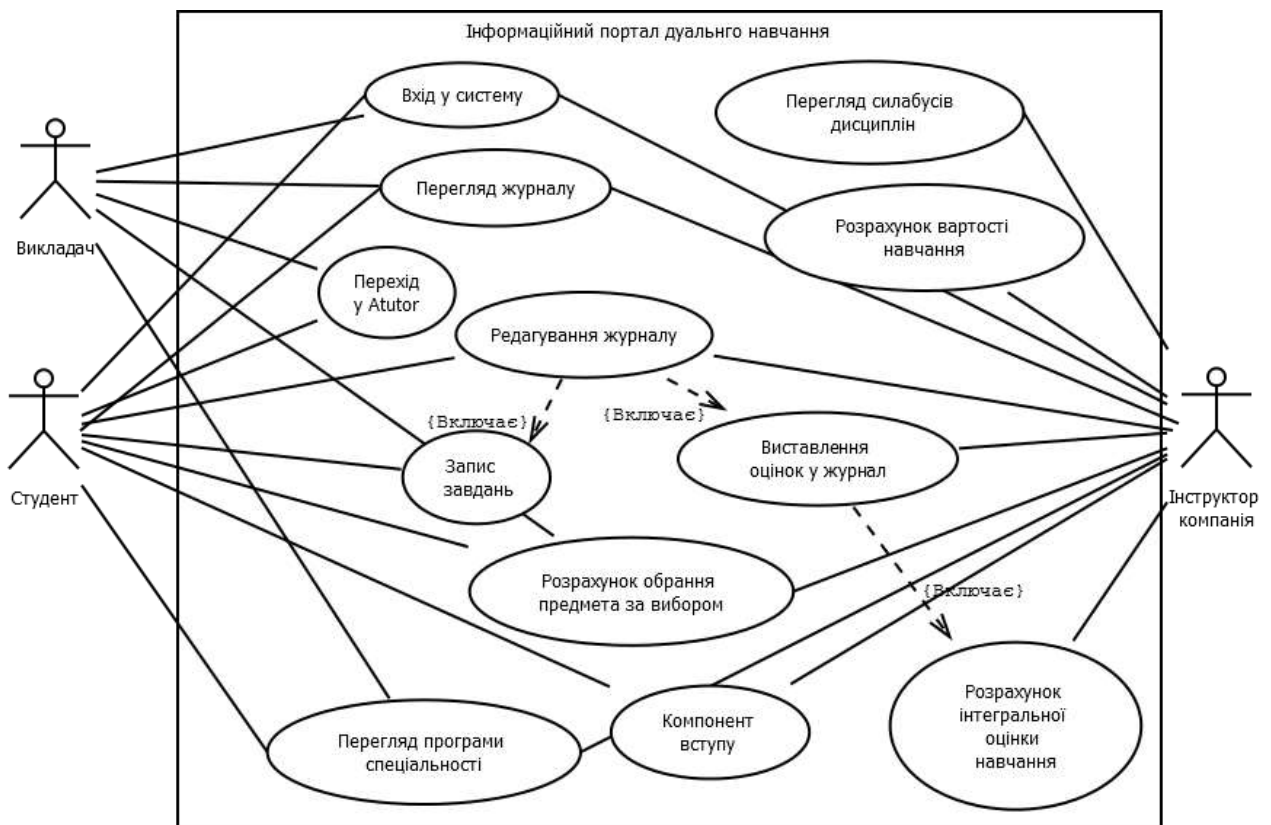


Рисунок 4.5 – Діаграма прецедентів інформаційного порталу дуального навчання

Як позначено на рис. 4.5, основними дійовими особами інформаційного порталу дуального навчання та її користувачами є:

- Студент.
- Викладач (навчальний заклад).
- Інструктор (компанія).

Одним із спільних прецедентів для дійових осіб системи є вхід у інформаційний портал, який передбачає введення логіна та пароля з подальшим використанням системи з відповідними привілеями доступу та редагування.

Серед прецедентів, представлених на рис.4.5, можна виділити ті, які відносяться до онлайн журналу навчання:

- Перегляд.
- Редагування.
 - Запис завдань.
 - Оцінювання.

Право перегляду журналу мають студент, викладач та інструктор компанії. Варто зазначити, що журнал доступний для перегляду викладачу тільки тих студентів, яких він безпосередньо навчає. Інструктор має можливість перегляду журналу студентів, що працюють в його компанії та за якими він здійснює кураторство.

Таким чином, кожен користувач має свій особистий кабінет, у якому доступна різна конфігурація компонентів інформаційної технології залежно від типу користувача та його привілеїв.

На рис. 4.6 за допомогою діаграми прецедентів зображено особистий кабінет іструктора.

Інструктор компанії має доступ до онлайн журналу студента та може його редагувати, а саме призначати оцінки за завдання, які студент виконує в компанії та записує в онлайн щоденник.

Інструктору в особистому кабінеті доступні такі компоненти: підсистема компонента підтримки прийняття рішення обрання предмета за вибором, компонент оптимізації вартості навчання у плановому періоді, компонент розрахунку інтегральної оцінки навчання в компанії у плановому періоді, компонент вступу абітурієнта на дуальну форму навчання. Інструктор компанії також забезпечений переглядом силабусів навчальних дисциплін програм спеціальності.

Доступ до силабусів забезпечується через гіперпосилання та їх представленням у дистанційному навчанні без необхідності реєстрації. Необхідність у доступі до силабусів зумовлена постановкою завдань інструктором студенту на робочому місці та практики відповідно із застосуванням знань студентом, отриманих при вивченні дисципліни. Крім цього, ознайомлення інструктора з програмою дисципліни спеціальності потрібне для підтримки прийняття рішення з обрання предмета за вибором студента у підсистемі ранжування інструктора.

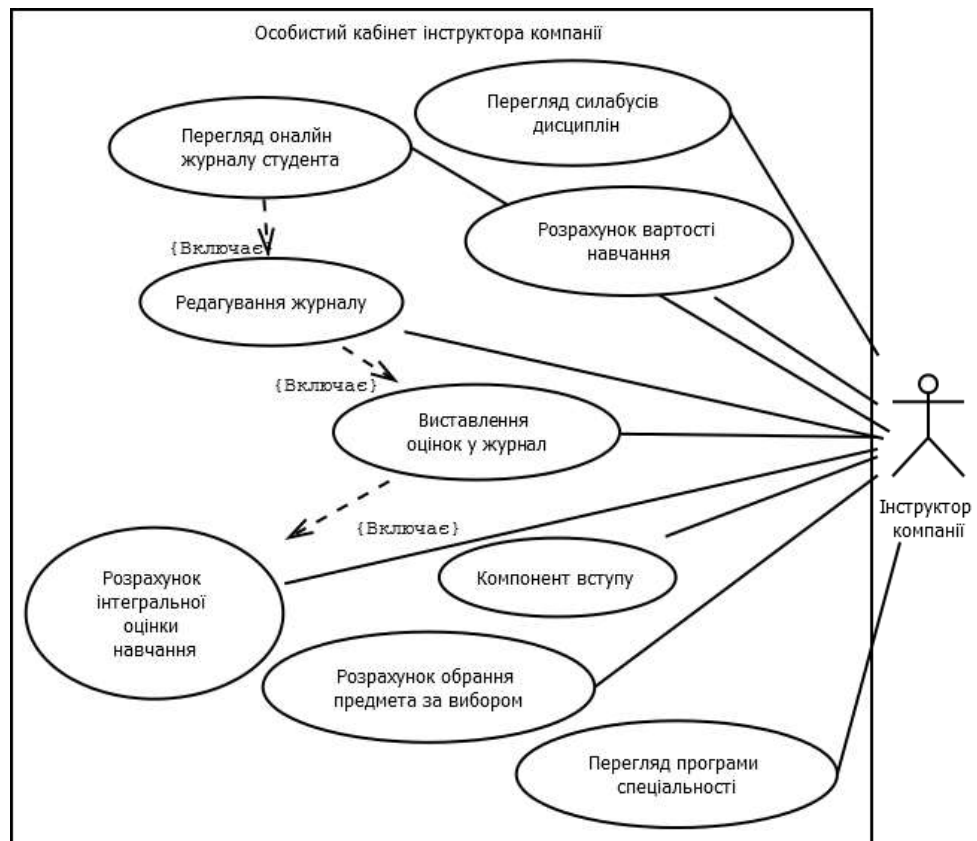


Рисунок 4.6 – Особистий кабінет інструктора компанії

Ознайомлення з програмою спеціальності студента забезпечить інструктора компанії довідковою інформацією для формування експертної думки при ранжуванні компетенцій та дисциплін програми спеціальності в компоненті підтримки прийняття рішення оцінювання студента в плановому періоді. Як бачимо на рис.4.6, компоненти особистого кабінету інструктора компанії є комплексними, тому будуть детальніше розглянуті у наступних підпунктах. На рис. 4.7 зображено компоненти особистого кабінету студента. Як бачимо на рис.4.7, студент під час навчання в компанії позначає виконані завдання в онлайн журналі, перегляд якого доступний інструктору та викладачу. Для внесення розв'язку виконаного завдання його необхідно пов'язати з предметом програми спеціальності та компетенцією, до якої належить предмет навчання (дану функцію виконує інструктор). Варто зазначити, що зв'язок між предметом та компетенцією є множинний, тобто один предмет може належати кільком компетенціям, як і компетенція програми спеціальності може включати кілька предметів.

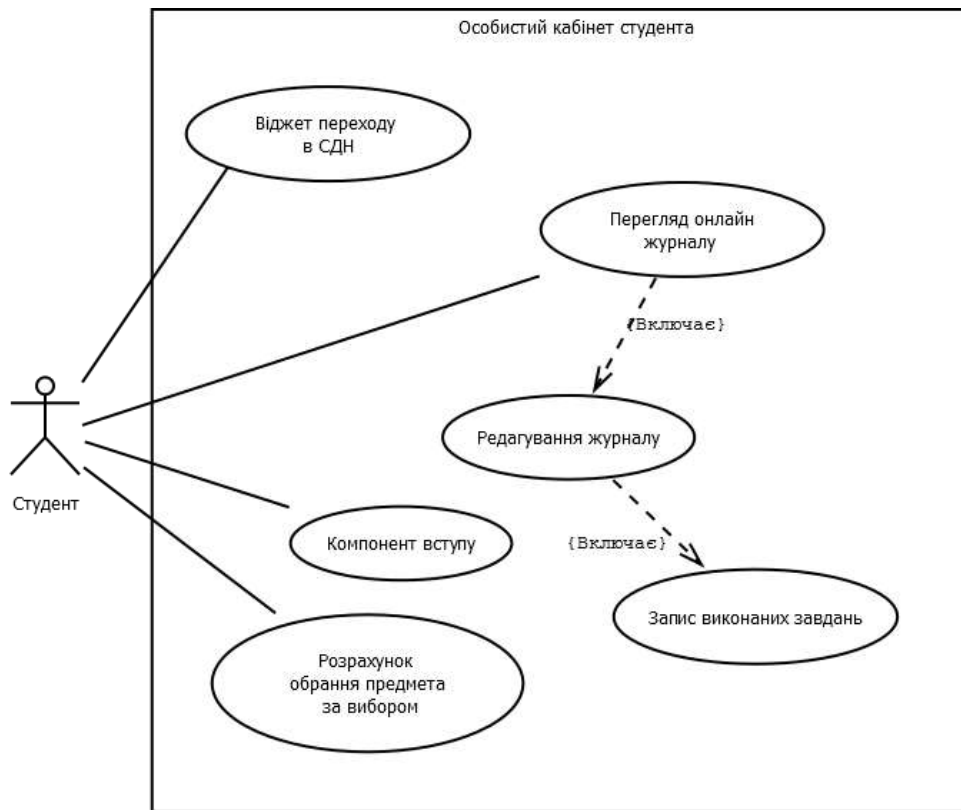


Рисунок 4.7 – Діаграма прецедентів особистого кабінету студента

У свою чергу, завдання пов'язане із конкретним предметом. Віджет переходу у СДН (систему дистанційного навчання) відіграє роль інтегруючого компонента між системою дистанційного навчання та інформаційним порталом дуального навчання. Компоненти обрання предмета за вибором та вступу є компонентами підтримки прийняття рішення, які детальніше будуть розглянуті у наступних пунктах.

Особистий кабінет викладача аналогічний кабінету студента, за винятком привілеїв редагування онлайн журналу (та відсутності компонента вступу абітурієнта на дуальну форму навчання) викладач має право лише переглядати та залишати коментарі під заповненими завданнями студента. Компонент підтримки прийняття рішення з обрання предмета за вибором доступний лише в якості підсистеми ранжування для викладача. Викладачеві також доступний віджет переходу в систему дистанційного навчання.

В даному підпункті ми представили інформаційний портал дуального навчання на найвищому рівні абстрагування за допомогою інструментів діаграми

прецедентів. Деталізуємо такі компоненти підтримки прийняття рішення, як обрання предмета за вибором, оптимізація вартості навчання, оцінювання навчання студента на робочому місці в наступних підпунктах, використовуючи діаграми класу для моделювання предметної області.

4.2.1. Інформаційна модель компонента оцінювання навчання студента в компанії

Для моделювання предметної області компонента підтримки прийняття рішення оптимізації вартості навчання використаємо діаграму класів мови моделювання UML опис якої наведений у додатку Д.

Відобразимо на діаграмі класу структуру компонента оцінювання навчання студента в системі дуальної освіти в компанії (рис.4.8).

Як бачим на рисунку 4.8 онлайн журнал навчання пов'язаний із компонентом оцінювання навчання методу TOPSIS зв'язком один до одного. Ключовими елементами розрахунку оцінювання навчання є:

- Компетенції.
- Дисципліни.
- Завдання (виконувані на робочому місці).

Компетенції та дисципліни є підкласами освітньої програми спеціальності, за якою студент навчається в закладі освіти та пов'язані з нею як дезагреговані складові структури. В свою чергу, компетенції поділяються на два підкласи – професійні та загальні. Компетенції та дисципліни пов'язані із онлайн журналом в якості відображення їх при заповненні виконаних завдань студентом.

При описуванні завдання студент повинен вибрати у випадяючому списку спочатку відповідну дисципліну, з якою пов'язане завдання, виконане на робочому місці, потім вибрати компетенцію освітньої програми, до якої відноситься згідно з програмою дисципліни. За такого підходу інструктор у компанії бачить завдання в комплексному вигляді з урахуванням навиків та вмінь (компетенції), що воно відображає ту дисципліну, з якої застосовувалися методи його виконання.

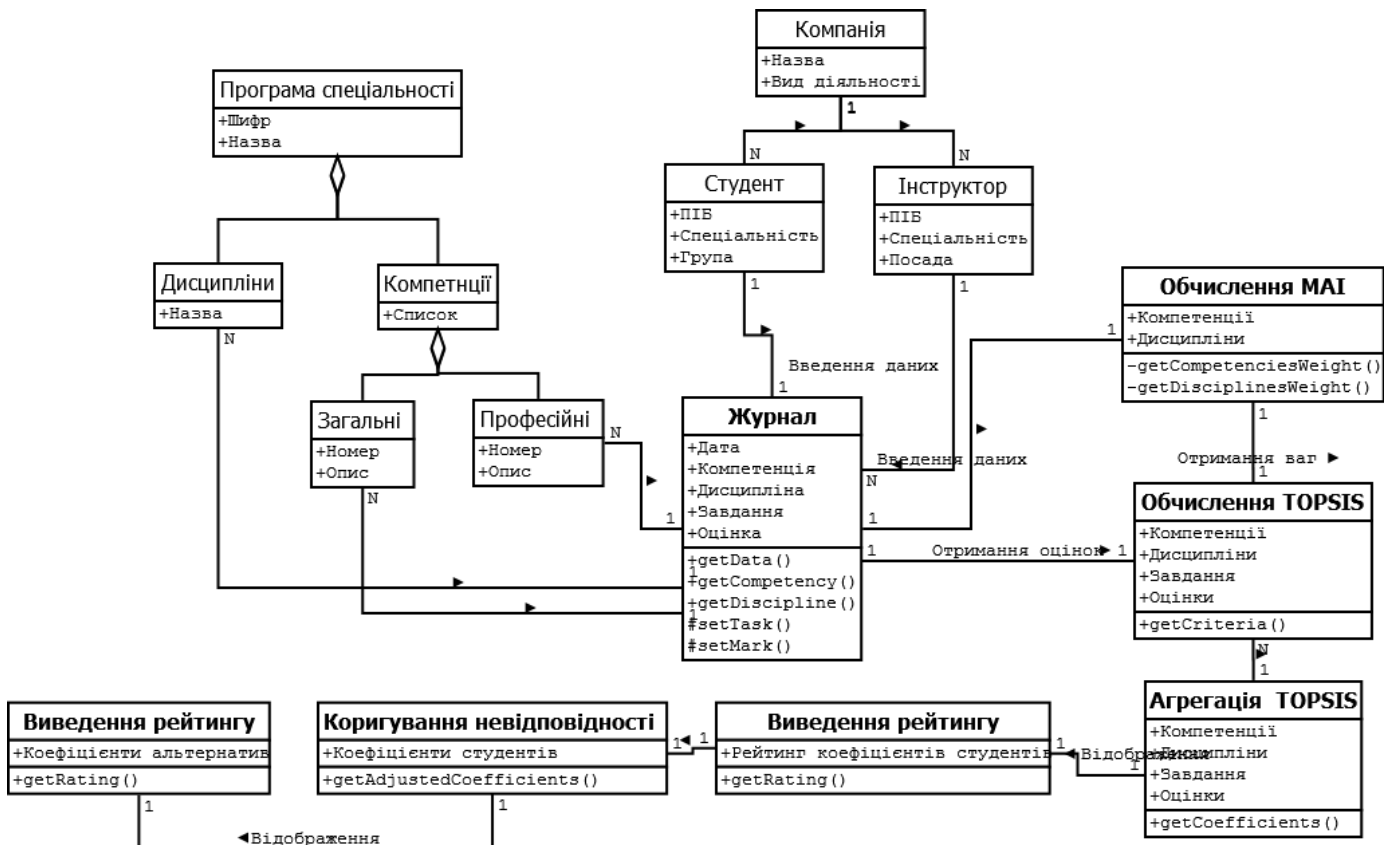


Рисунок 4.8 – Структура компонента оцінювання навчання студента

Таким чином онлайн журнал мають право редагувати студент та інструктор, проте з різними привілеями. Студент заповнює опис виконаного завдання, після чого інструктор може поставити оцінку за його виконання. Інструктору недоступно редагування записів виконаних завдань студентом. При цьому студент не має прав редагування оцінки, призначеної інструктором.

Компонент обчислення MAI (метод аналізу ієрархій) пов'язаний із онлайн журналом для отримання списку компетенцій та дисциплін, із яких студент виконував завдання. Компетенції та дисципліни за допомогою компонента MAI отримують вагові коефіцієнти, які інструктор розраховує для подальшого опрацювання за алгоритмом TOPSIS.

Компонент обчислення TOPSIS пов'язаний із класом онлайн журнал та обчислення MAI для отримання оцінок і вагових коефіцієнтів компетенцій та дисциплін. Після отримання критеріїв від інших підсистем ранжування (компаній) відбувається їх агрегація за допомогою однойменного компонента та

розраховуються найменші й найбільші значення по кожному критерію з подальшим обчисленням значень альтернатив за алгоритмом TOPSIS. Коли отримано оцінки альтернатив, відбувається їх ранжування з подальшим коригуванням невідповідності підсистем і повторним виведення рейтингу. На рис. 4.9 зображено послідовність кроків у часі оцінювання навчання студента в компанії.

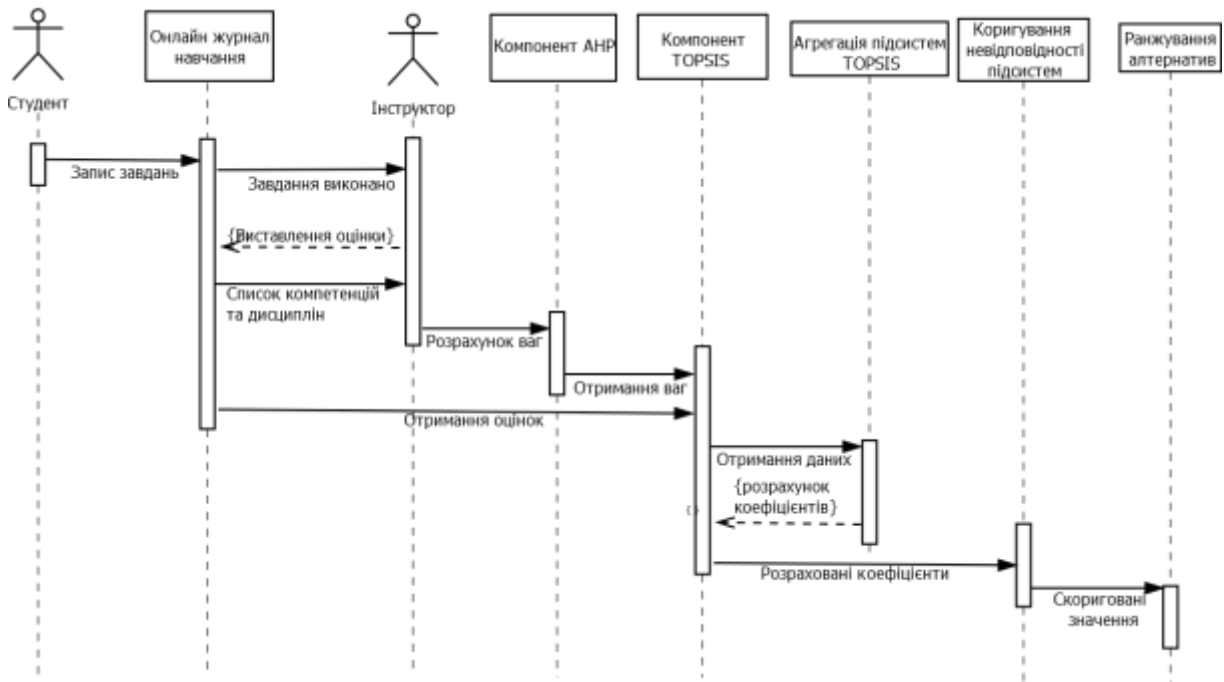


Рисунок 4.9 – Діаграма послідовності оцінювання навчання студента

Як бачимо з рис.4.9, розрахунок оцінок програмним компонентом на основі методу TOPSIS можливий тільки після повного заповнення журналу студентом та інструктором компанії. Компонент агрегації після визначення відносних ваг критеріїв та підкритеріїв збирає інформацію про оцінки та критерії з журналів інших компанії та на їх основі визначає ідеально негативні та ідеально позитивні значення критеріїв. Після даних кроків розраховуємо значення позиції студента відносно інших студентів (студенти можуть бути як і з поточної компанії, так і з інших). Відповідно передостаннім кроком є коригування невідповідності підсистем програмі спеціальності. Кінцевим етапом є виведення проранжованих альтернатив із урахуванням проведеної корекції невідповідності підсистем ранжування.

4.2.2. Інформаційна модель компонента оптимізації вартості навчання

Інформаційна модель оптимізації вартості навчання (рис.4.10) студента в компанії відображає інформаційні процеси та елементи інформаційної взаємодії компонента підтримки прийняття рішення для компанії. Компонент оптимізації вартості допомагає компанії впливати на навчальний процес, при цьому мінімізуючи витрати на навчання та максимізуючи корисність від нього.

Як бачимо з рис.4.10 у визначенні корисності компетенцій беруть участь куратор із навчального закладу студента та інструктор компанії, в якій навчається студент за дуальною формою освіти.

Перед початком визначення корисності компетенцій дійовими особами, інструктор із компанії відбирає ті, за якими студент буде навчатися у компанії в плановому періоді. На основі вибраних компетенцій інструктор та куратор проводять визначення їх корисності. При визначенні корисності компетенцій куратор бере до уваги навчальне навантаження з кожної компетенції в закладі освіти, їх технічне забезпечення, практичні та лабораторні роботи. Інструктор з компанії та куратор з навчального закладу визначають корисність компетенцій за допомогою методу АНР (analytical hierarchy process (метод аналізу ієрархій)). Після визначення корисності дійовими особами призначені оцінки агрегуються із використанням методу, описаним у другому розділі для врахування дорадчої думки куратора. Думка куратора є дорадчою для забезпечення інтеграції зацікавлених сторін при організації навчального процесу.

Також інтеграційним елементом є освітня програма спеціальності, яка відіграє роль базового документа обрання інструктором із компанії компетенцій для навчання. Коли отримані агреговані оцінки програми корисності компетенцій, формується цільова функція та обмеження задачі оптимізації. Одним із обмежень задачі оптимізації є розрахунок вартості інструктором години підготовки компетенцій освітньої програми спеціальності.

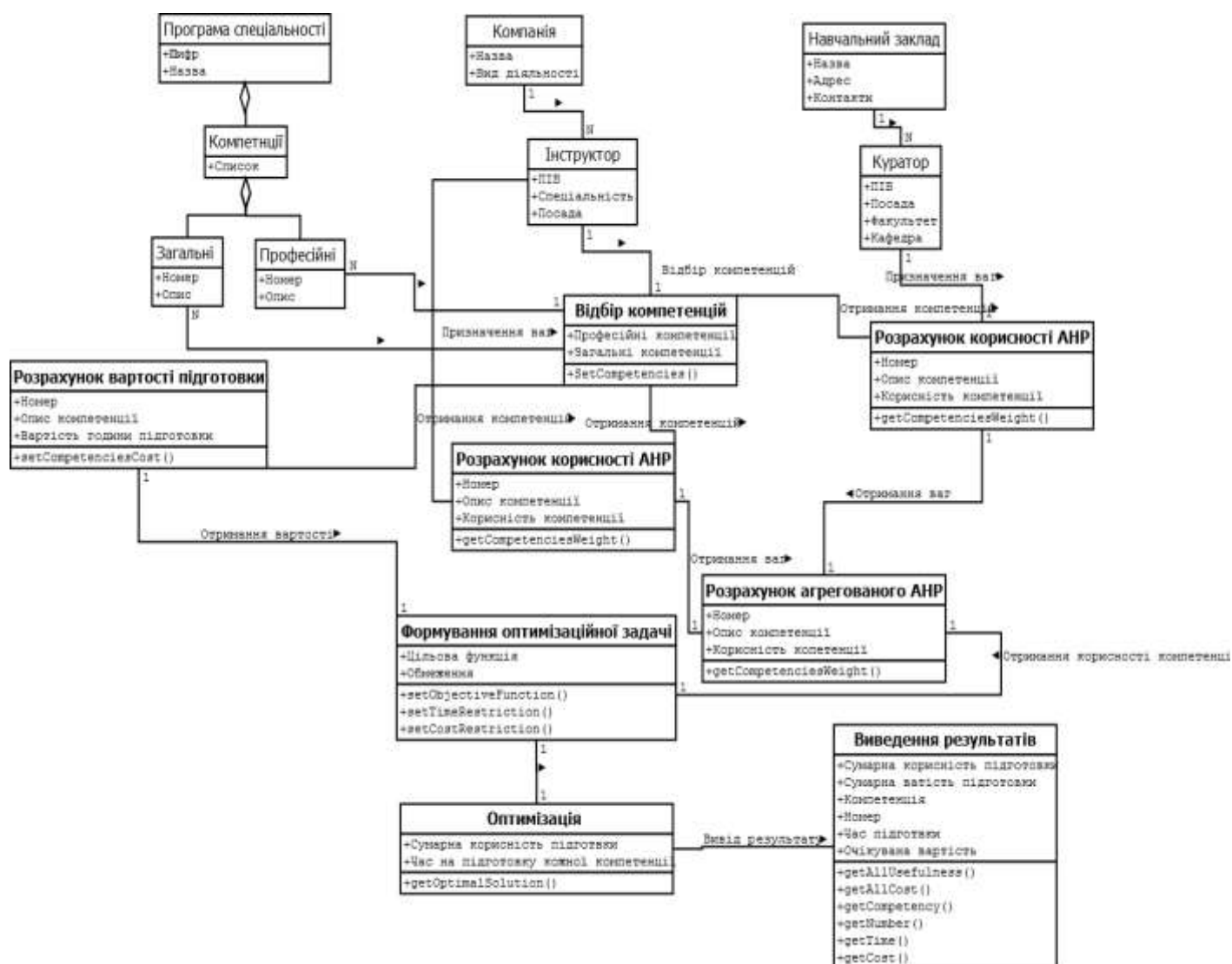


Рисунок 4.10 – Діаграма класу компонента оптимізації вартості навчання

Обмеження часу години підготовки задається згідно встановленими вимогами Закону України для дуальної форми освіти. Після формування обмежень задачі оптимізації розраховується сумарна корисність підготовки множини обраних компетенцій у плановому періоді. У вікні виведення результатів представляється сумарна вартість підготовки, вартість підготовки у розрізі кожної компетенції, час її підготовки.

На рис. 4.11 наведено послідовність етапів оптимізації вартості навчання.

Як бачимо на рис.4.11, відбір групи компетенцій, за якими буде проходити навчання, здійснюється інструктором із компанії тільки після цього куратор із навчального закладу зможе провести ранжування.

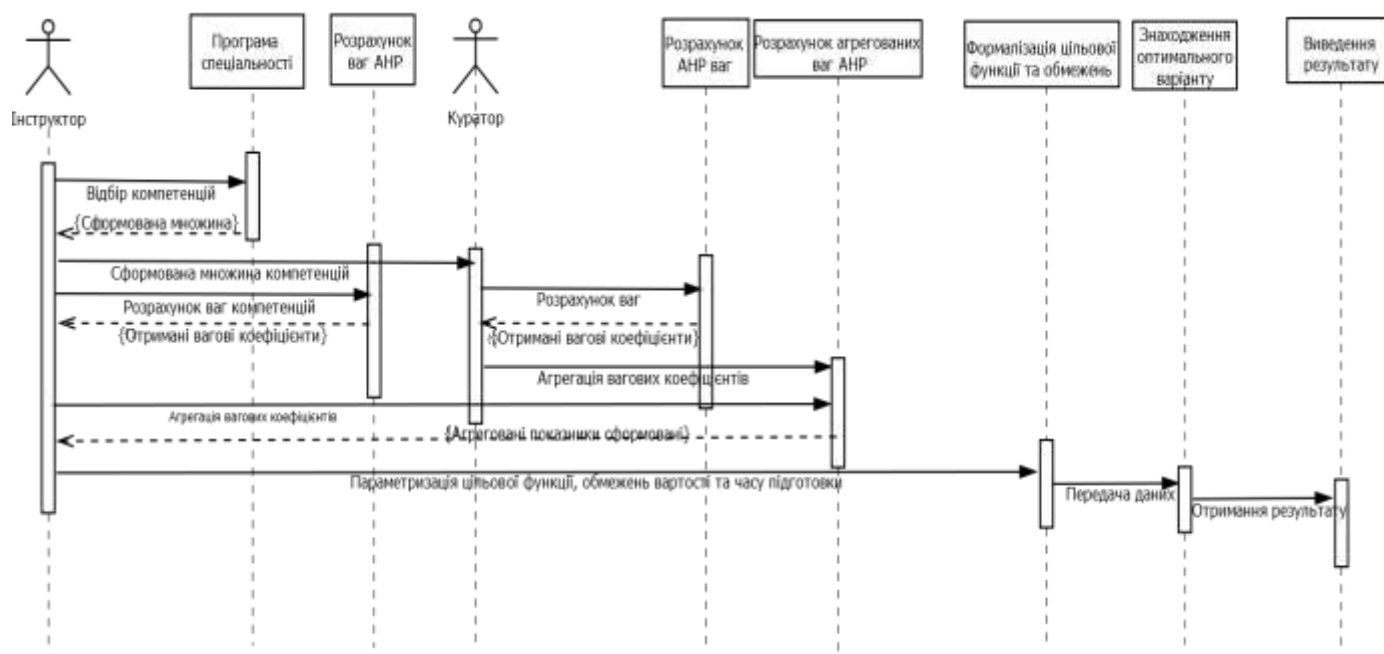


Рисунок 4.11 – Діаграма послідовностей оптимізації вартості навчання в компанії

Коли інструктором із компанії сформована група компетенцій, сторони проводять ранжування методом АНР, після чого дані передаються інструктору для параметризації цільової функції та обмежень задачі оптимізації, таких, як визначення вартості навчання, встановлення обмежень бюджету, виділеного на навчання в компанії, параметризація часових рамок навчання

Після знаходження оптимального варіанта розв'язку виводиться результат. Таким чином, інструктор може знайти оптимальний результат тільки після таких кроків, як визначення ваг АНР куратором за знаходження агрегованих значень корисності.

4.2.3. Інформаційна модель компонента обрання предмета за вибором

Обрання предмета за вибором у системі дуальної освіти є комплексним завданням, оскільки прийняття рішення дійовими особами в даній системі освіти впливає на усіх зацікавлених сторін. Моделювання інформаційних процесів компонента обрання студентом предмета за вибором є необхідною складовою комплексної математичної моделі, оскільки інформаційна структура демонструє

взаємодію сторін і подальшу програмну реалізацію компонента. На рис. 4.12 наведено структуру компонента обрання предмета за вибором, змодельовану діаграмою класу мовою UML.

Як бачимо на рис.4.12, математична модель поділена на три підсистеми:

- Студент.
- Інструктор (компанія).
- Куратор (викладач).

Кожна з підсистем має свою систему критеріїв, деякі з яких можуть, зокрема, перекриватися (бути однаковими). На рис. 4.8 зображена агрегована модель обрання предмета.

Дійовим особам – студенту, викладачу та інструктору доступний розрахунок лише в своїй підсистемі.

У кожній підсистемі зацікавленим сторонам доступні такі дії, як формування критеріїв ранжування дисциплін, розрахунок ваг критеріїв, призначення оцінок альтернативам за кожним критерієм. Кожною підсистемою ранжується набір дисциплін обрання предмета за вибором у плановому періоді.

Компонент визначення ваг підсистем розраховує коефіцієнти методом АНР, які необхідні для фінальної агрегації рейтингу із урахуванням ранжування підсистем. Компонент коригування коефіцієнтів VIKOR визначає коефіцієнт групової корисності у кожній підсистемі розрахунку VIKOR на основі ваг підсистем.

На рис. 4.13 наведена діаграма послідовності, на якій зображено порядковість виконання команд компонента обрання дисципліни за вибором. Зазначимо, що на рисунку 4.13 наведено операції компонента обрання дисципліни з боку студента. Тобто дані операції є аналогічними для інструктора та куратора.

Як бачимо з рис. 4.13, для того щоб почати ранжувати дисципліни студент повинен обрати їх із програми спеціальності, відповідно ті, які запропоновані для планового періоду вивчення. Коли дисципліни обрані, студент формує підсистему критеріїв, за якими буде ранжувати предмети.

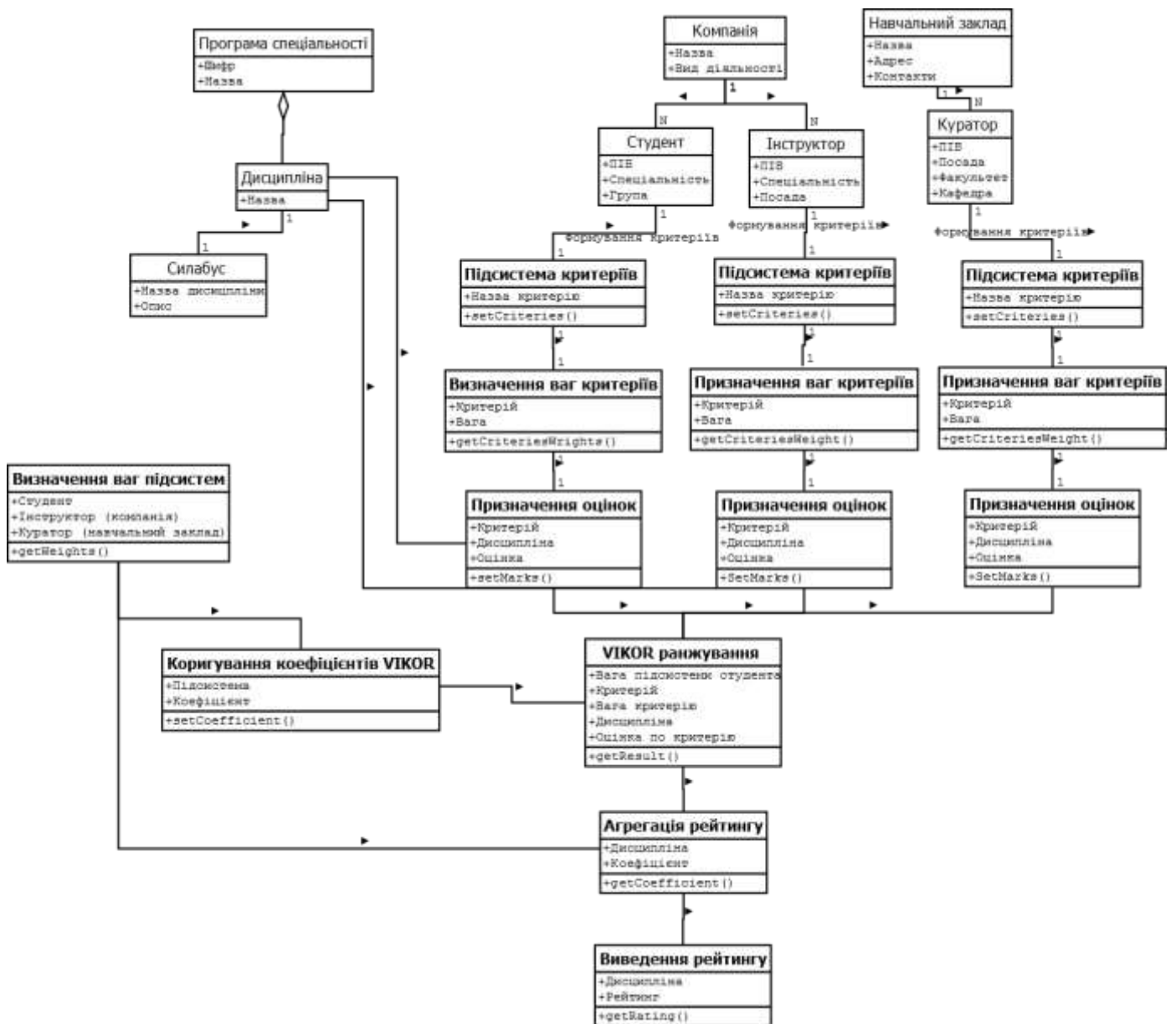


Рисунок 4.12 – Компонент обрання предмета за вибором діаграми класу

Інструктор та куратор зі свого боку також формують власні підсистеми критеріїв. Після того як студент сформував підсистеми критеріїв, він за допомогою методу АНР визначає їх ваги та призначає оцінки альтернативам ранжування відповідно за кожним критерієм. Наступним етапом є визначення ваг підсистем ранжування: інструктора, куратора, студента. Визначення ваг необхідне для призначення коефіцієнта групової корисності згідно з розробленою модифікацією методу VIKOR.

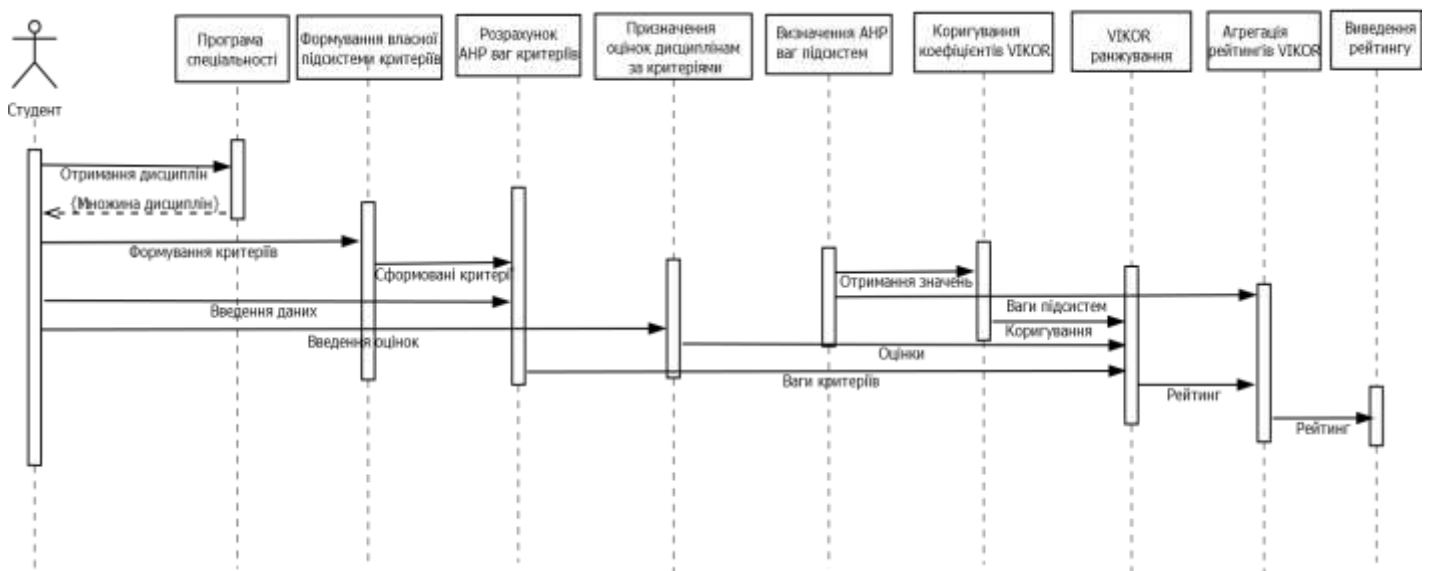


Рисунок 4.13 – Діаграма послідовностей компонента обрання дисципліни за вибором

Після визначення оцінок, ваг критеріїв та підсистем альтернативи у кожній підсистемі ранжуються із власною системою критеріїв відповідно до алгоритму VIKOR. Компонент агрегації об'єднує показники підсистем із урахуванням їх ваг, що були визначені в попередньому кроці. Описана послідовність є аналогічною для усіх зацікавлених сторін в їх особистих кабінетах. Етап агрегації є об'єднуючим компонентом для трьох підсистем ранжування, який виводить агреговану оцінку з урахуванням ваг підсистем.

4.2.4. Інформаційна модель компонента вступу абітурієнта на дуальну форму освіти

Компонент вступу абітурієнта є двостороннім інструментом вибору абітурієнтом компанії та вибору компанією абітурієнта. Особливість двостороннього процесу полягає у виборі компанією абітурієнтів із множини претендентів, враховуючи також думку вступників у вигляді їх системи відбору компаній як підсистеми відбору компанією претендентів. На рис. 4.14 зображено класи об'єктів інформаційної моделі компонента вступу.

На рис. 4.14 наведено зв'язок класів об'єктів розрахунку рейтингу студентів у середині компанії. Відповідно до класів, наведених на рис. 4.14, процес

рейтингування вступників у компанії розпочинається з відбору абітурієнтів, які включили поточну компанію у власний список рейтингування компаній зі свого боку (тобто абітурієнт розглядає дану компанію як потенційну для навчання). Структура даної моделі передбачає дві системи рейтингування: система ранжування компаній абітурієнтом; система ранжування в компанії абітурієнтів.

Як наведено на рис. 4.14, система ранжування в компанії абітурієнтів складається зі списку власних сформованих критеріїв та критеріїв абітурієнта відбору компаній. Компанія призначає вагові коефіцієнти усім критеріям. Після призначення вагових коефіцієнтів критеріям компанія призначає нечіткі оцінки за кожним критерієм для усієї множини відібраних абітурієнтів.

При призначенні оцінок компанія отримує також оцінки за критеріями відбору абітурієнтів компаній (поточна компанія отримує оцінки від абітурієнтів, які в результаті їх ранжування вона отримала у порівнянні з іншими фірмами вибірки). Розрахунок рейтингу абітурієнтів відбувається модифікованим VIKOR-TODIM методом багатокритеріального аналізу. Етапи модифікованого розрахунку передбачають обчислення рейтингу з урахуванням усіх критеріїв та розрахунку рейтингу тільки на основі критеріїв відбору абітурієнтів із подальшим обчисленням агрегованих значень за відповідною формулою.

На рис. 4.15 наведено діаграму послідовностей інформаційної моделі вступу.

Відповідно до представлення на рис.4.15 послідовність ранжування в системі абітурієнта й компанії така:

- відбір компаній/абітурієнтів (які включили поточну компанію до списку та розглядають як потенційну для навчання);
- формування критеріїв;
- визначення ваг агрегованим критеріям (тільки для компанії, фірма отримує ваги критеріїв абітурієнтів та визначає ваги усім агрегованим критеріям);

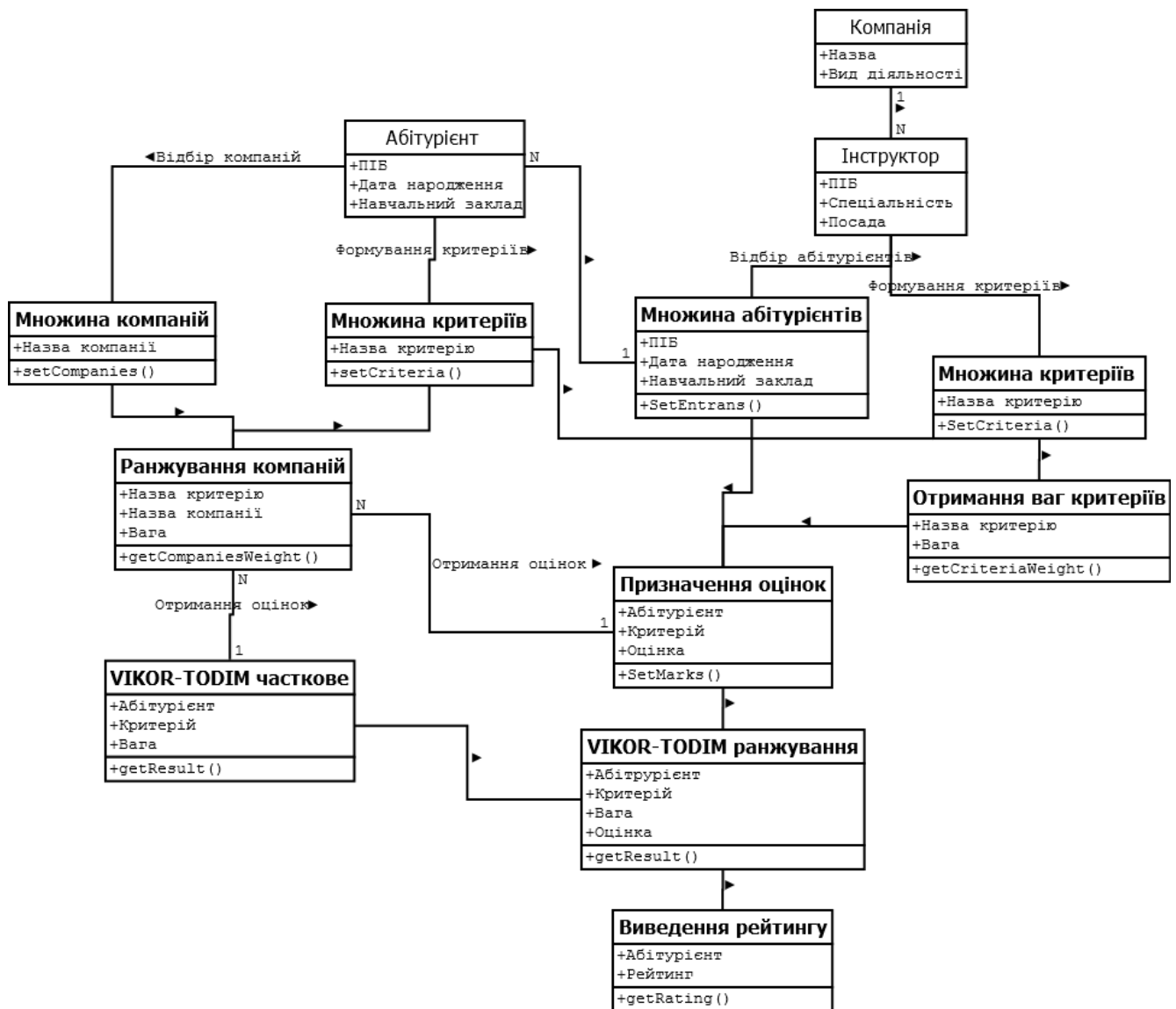


Рисунок 4.14 – Діаграма класу інформаційної моделі вступу на дуальну форму освіти

- визначення оцінок компаній за критеріями абітурієнта/призначення оцінок компанією абітурієнтам за кожним критерієм;
- агрегування оцінок та ваг у компанії від студента;
- VIKOR-TODIM розрахунок коефіцієнтів рейтингу (в системі абітурієнта й компанії);
- розрахунок модифікованим методом VIKOR-TODIM рейтингу абітурієнтів у компанії.

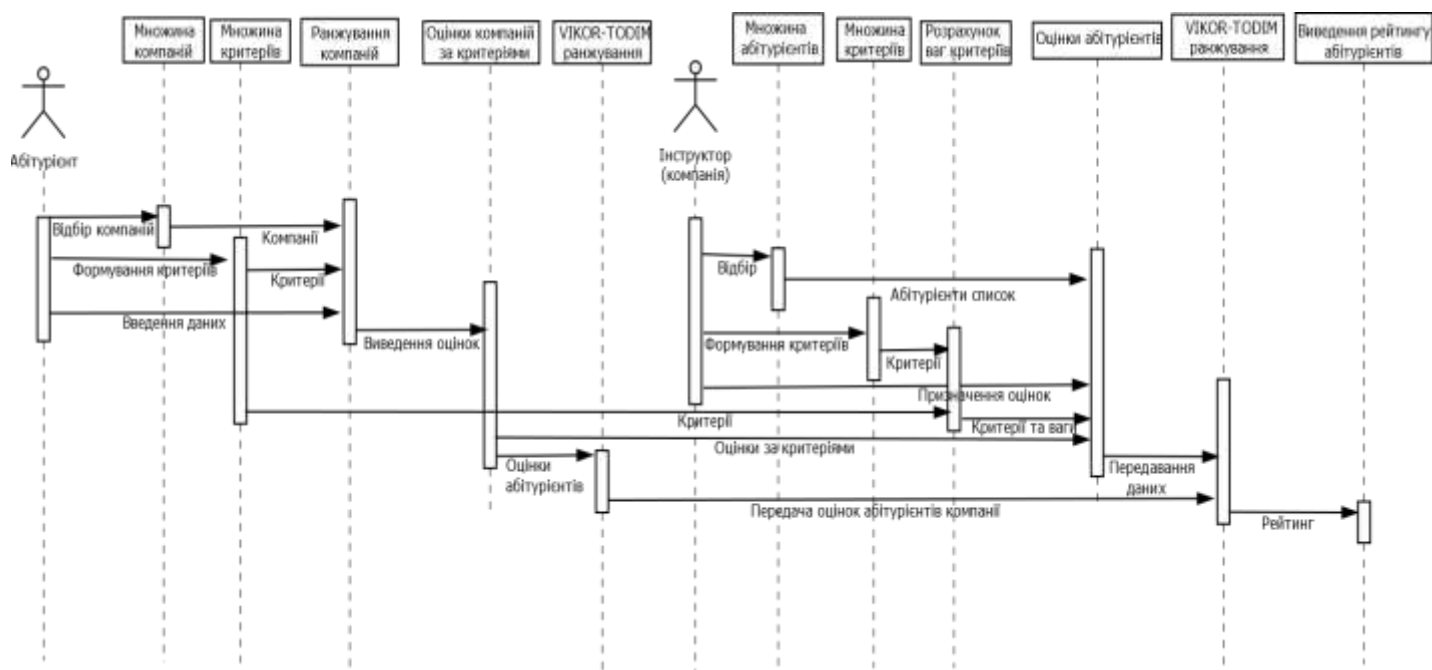


Рисунок 4.15 – Діаграма послідовності інформаційної моделі вступу абітурієнта

Таким чином, розрахунок рейтингу VIKOR-TODIM методом відбувається в двох системах ранжування абітурієнта та компанії, причому ранжування в компанії включає критерії та оцінки абітурієнта з його системи відбору компаній. Крім цього, метод ранжування в компанії включає часткове ранжування VIKOR-TODIM методом окремо призначених оцінок абітурієнтами компанії з подальшим об'єднанням алгоритму в модифікований VIKOR-TODIM метод.

4.3. Мета розроблення, вимоги, структура інформаційного порталу дуальної форми освіти

Відповідно до затвердженої концепції дуальної форми освіти [37], Закону України “Про освіту” [35], Положення Про дуальну форму здобуття професійної (професійно-технічної) освіти [32] та Положення про дистанційне навчання [31], Програму національної інформатизації [34]. Розроблення веб-порталу дуального навчання є актуальним завданням, оскільки навчання відбувається у різних локаціях (компанії та навчального закладу) й, відповідно, при навчанні студента в

одному із середовищ необхідний зв'язок із локацією, в якій студент навчається почергово для збереження цілісності та неперервності навчального процесу. Наприклад, при навчанні студента в компанії зв'язок із локацією навчального закладу має забезпечувати дотримання академічних вимог практичного навчання в компанії. Відповідно є необхідність автоматизувати інформаційні процеси дуальної освіти засобами веб-порталу. Крім цього, в системі дуальної освіти зв'язок між дійовими особами різних локацій є принциповим, оскільки від нього залежить ефективність реалізації даної форми освіти як такої.

Засоби систем дистанційного навчання є допоміжними при реалізації даної форми освіти, оскільки орієнтовані на навчальні процеси в середині закладу освіти та не задовольняють усіх потреб компанії як сторони, що забезпечує проведення навчального процесу.

Користувачами порталу дуального навчання будуть студенти, які навчаються за даною формою освіти, викладачі навчальних закладів, інструктори компаній, абітурієнти.

На рис. 4.16 зображено загальну структуру веб-порталу дуального навчання.

Загальна структура веб-порталу складається з особистих кабінетів інструктора, куратора та студента. Веб-портал включає такі інформаційні компоненти підтримки прийняття рішень, як компонент обрання дисципліни, компонент оптимізації вартості навчання, компонент оцінювання навчання, компонент вступу.

Окреслимо вимоги до порталу дуального навчання:

1. Інформаційний портал дуального навчання має складатись із таких компонентів підтримки прийняття рішень: компонент оцінювання навчання з боку компанії, компонент оптимізації вартості навчання, компонент обрання дисципліни за вибором, компонент підтримки прийняття рішення вступу абітурієнта на дуальну форму освіти.
2. Інформаційний портал має забезпечувати зв'язок між стейкхолдерами навчального процесу дуального навчання.

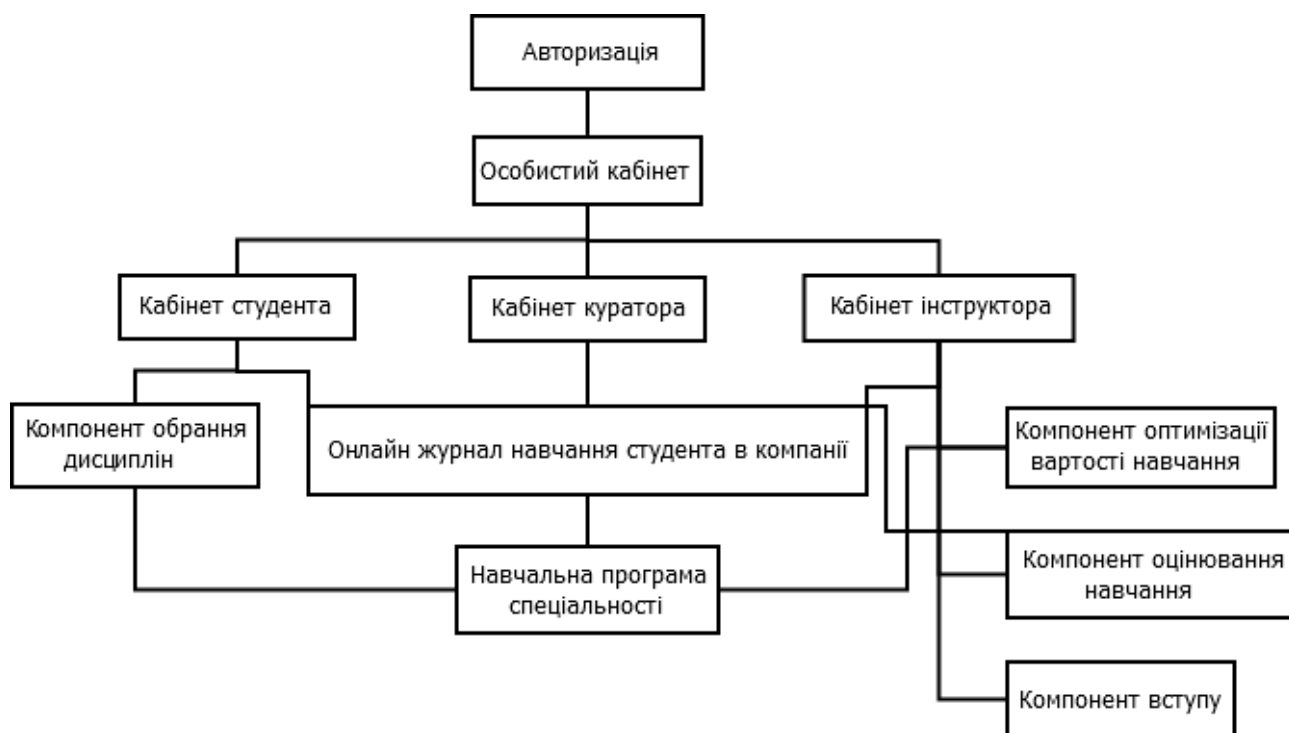


Рисунок 4.16 – Загальна структура веб-порталу дуального навчання

3. Інформаційний портал має забезпечувати зв'язок між системами менеджменту навчання закладів освіти.
4. Компоненти інформаційного порталу мають відповідати структурі інформаційних моделей, розроблених у третьому розділі.
5. Програмні засоби та мова програмування, що використовуються для побудови порталу, мають бути у вільному доступі та з відкритим програмним кодом.

4.4. Функціональна структура комплексу компонентів інформаційного порталу дуального навчання

Комплекс компонентів інформаційного порталу дуального навчання включає складові блоки підтримання прийняття рішень студента й компанії. Відповідно функціональна структура комплексу компонентів підтримання прийняття рішень складається з таких рівнів:

- Користувацький інтерфейс введення даних користувачем.

- Рівень програмного алгоритму розрахунку результатів введених даних згідно з методами та їх модифікацій компонентів: оптимізації вартості навчання, оцінювання навчання, обрання предмета за вибором, вступу абітурієнта на дуальну форму навчання.
- Рівень управління базами даних дисциплін програми спеціальності, компетенцій, оцінок студентів.

На рис.4.17 зображена функціональна структура комплексу підтримки прийняття рішень порталу дуального навчання.

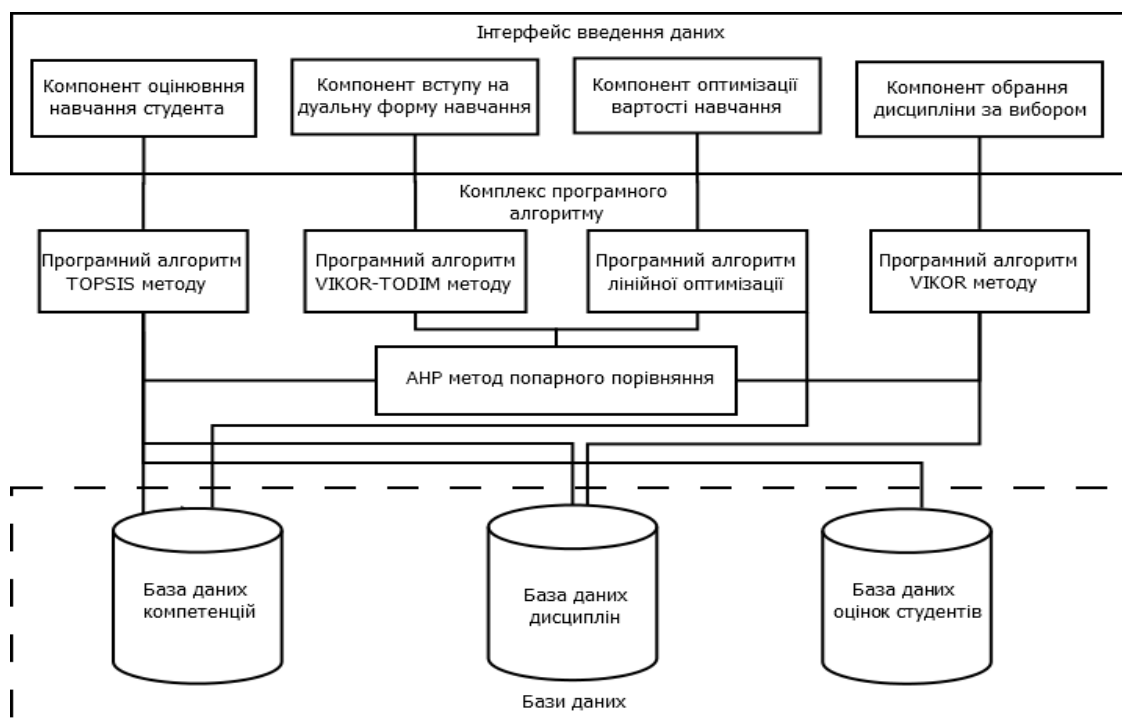


Рисунок 4.17 – Функціональна структура комплексу компонентів підтримки прийняття рішень

На рівні інтерфейсу компонентів (рис.4.17) користувач параметризує конфігурацію атрибутів, які видобуваються з баз даних. Для компонента оцінювання навчання студента в компанії з баз даних отримуються дані про список компетенцій, дисциплін та оцінок студента, здобутих протягом навчання в компанії. Після отримання даних користувач (інструктор) вводить значення для попарного порівняння атрибутів оцінок (компетенцій та дисциплін), на рівні програмного алгоритму обчислюються значення ваг компетенцій та дисциплін.

Після того, як зібрані усі дані ваг та оцінок, розраховується агрегована оцінка студента за допомогою програмного алгоритму TOPSIS та виводиться результат через інтерфейс застосунку.

Компонент оптимізації вартості навчання отримує множину компетенцій із бази даних, після чого користувач (інструктор) вводить дані попарного порівняння для обчислення значень програмним алгоритмом АНР методу. Після отриманих даних для цільової функції користувач через інтерфейс застосунку вводить обмеження вартості та часу. Коли отримано всі дані, програмний алгоритм методом лінійного програмування обчислює оптимальний результат, який виводиться через інтерфейс користувача.

Компонент обрання дисципліни за вибором отримує затребувану користувачем множину дисциплін із бази даних. На наступному кроці користувач через інтерфейс вводить критерії оцінювання та значення для попарного порівняння ваг критеріїв програмним алгоритмом АНР. Після введення оцінок з кожного критерію та отримання ваг, дисципліни ранжуються програмним алгоритмом VIKOR. Отриманий результат виводиться на екран через інтерфейс користувача.

Компонент вступу використовує програмний алгоритм АНР для розрахунку сформованих агрегованих критеріїв, користувач через програмний інтерфейс вводить оцінки для кожного абітурієнта за кожним критерієм. Після введення даних розраховуються всі значення через програмний алгоритм VIKOR-TODIM методу.

4.5. Програмна реалізація, засоби та інструменти

Комплекс компонентів підтримки прийняття рішень реалізований у вигляді веб-порталу дуального навчання з необхідністю реєстрації користувачів для розмежування прав доступу до компонентів підтримки прийняття рішень відповідно до типу особистого кабінету (кабінет інструктора компанії, кабінет куратора навчального закладу, кабінет студента). Необхідність наявності особистого кабінету користувачів обґрунтовується розмежуванням прав доступу

та наявністю різних компонентів підтримки прийняття рішень залежно від типу користувача. Для прикладу, компонент оптимізації вартості навчання в компанії реалізований із використанням мови програмування Python (рис.4.18).

```

#23.84*x[1] + 18.56*x[2] + 14.41*x[3] + 12.88*x[4] + 11.49*x[5] + 8.56*x[6] + 7.06*x[7] +3.62*x[8] + 1.44*x[9]

#model += (170* x[1] + 165 *x[2] +145* x[3] + 170*x[4]+ 155*x[5]+ 160*x[6]+ 160*[7]+ 150*x[8]+ 140*x[9])<= 5000, "P=5000 ")

#a=[170,165,145,170,155,160,160,150,140]

import time
start_time = time.time()
c=[23.84,18.56,14.41, 12.88,11.49, 8.56,7.06,3.62,1.44]
a=[170,165,145,170,155,160,160,150,140]
n=9
#print(a)
const1=450
const2=1000
max_S=0
S_V=5000
req1=30
req2=270
L_m=[]
a_2=a
for i in range(9):
    a_2[i]=a[i] // 2
    #print('a=',a)

for x1 in range(270,req2+1,15):
    print("---- %s seconds ----" % (time.time() - start_time))
    #print(L_m, max_S)
    for x2 in range(240,req2+1,15):

print("---- %s seconds ----" % (time.time() - start_time))
print(max_S)
print({'resultat':L_m})
print(max_S)

print("---- %s seconds ----" % (time.time() - start_time))

```

Рисунок 4.18 – Фрагмент коду Python компонента оптимізації вартості навчання

Прототип веб-порталу реалізований з використанням:

- Відкритої мови програмування PHP (мова програмування, яку зазвичай використовують для побудови back-end сайту), код якого можна інкапсулювати в HTML розмітку сайту.
- Мови програмування Python.
- Системи керування базами даних MySQL.
- HTML – мови розмітки веб-сторінок;
- Об'єктно орієнтованої мови програмування Java,
- Каскадних таблиць стилів CSS.

У веб-порталі дуального навчання окремі компоненти особистих кабінетів підтримки прийняття рішень реалізовані як самостійні складові інформаційного порталу.

Як самостійна складова у вигляді застосунку реалізований також компонент попарного порівняння АНР та програмні алгоритми VIKOR, VIKOR-TODIM, TOPSIS методів.

4.6. Інтерфейс веб-порталу

Як вже зазначалося, веб-портал реалізований у вигляді особистого кабінету для різних типів користувачів: куратора (навчальний заклад), інструктора (компанія), студента. Для створення особистого кабінету користувач проходить реєстрацію, заповнюючи форму відповідно до свого типу. Після реєстрації/авторизації користувачу в залежно від його типу доступний особистий кабінет із компонентами підтримки прийняття рішень (рис.4.19).

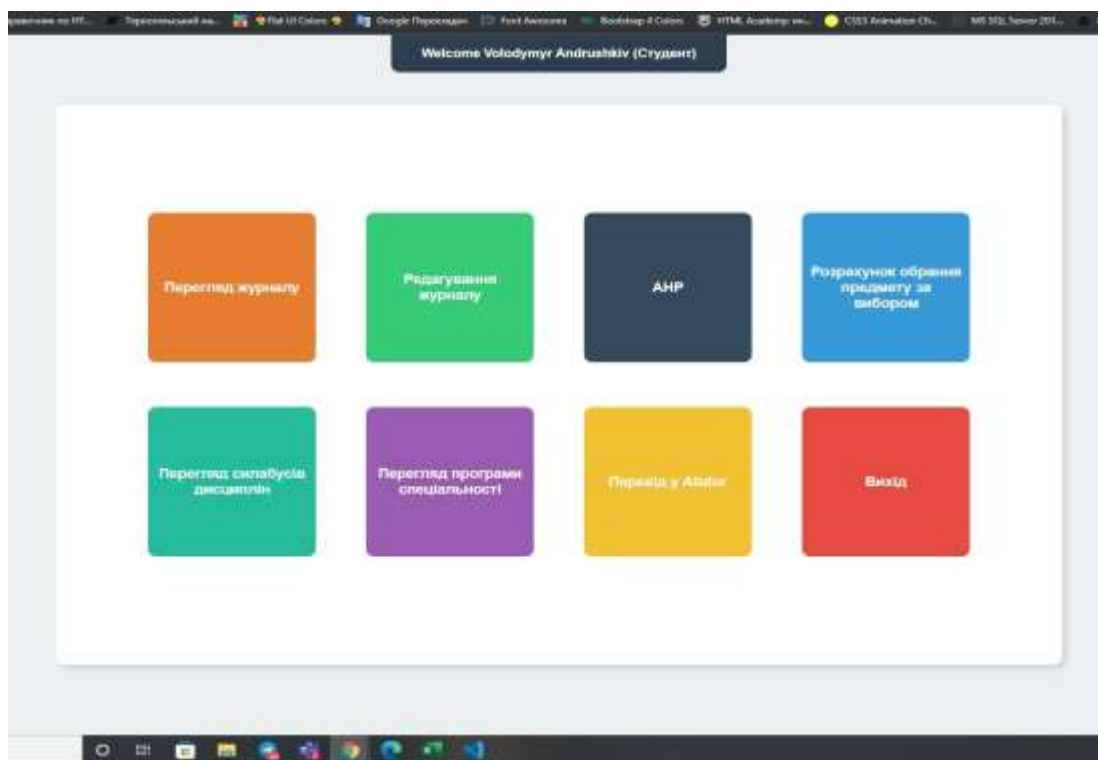


Рисунок 4.19 – Компоненти особистого кабінету студента

Піктограми відображають складові компоненти підтримки прийняття рішень. Зокрема, такий компонент, як журнал є складовою, що доступна кожному типу користувачів у своїх особистих кабінетах із різними привілеями його редагування. Журнал є інструментом фіксації навчання студента в компанії, для інструктора компанії – інструментом оцінювання студента, для куратора з

начального закладу інструментом кооперації з організації навчального процесу в закладі освіти.

На рис. 4.20 зображено редагування онлайн журналу інструктором. Як зображено на рис. 4.20, інструктор вводить такі дані, як назву завдання, перевіряючого, опис завдання, своє ПІБ. Перед тим, як заповнити завдання, інструктор вводить предмет, до якого воно належить (рис. 4.21).

Рисунок 4.20 – Запис завдання в онлайн журнал

На рис. 4.21 зображено додавання предмета перед призначенням завдання.

Рисунок - 4.21. Вибір предмета

На рис. 4.22 зображено додавання інструктором компетенцій освітньої програми спеціальності до вибраної дисципліни.

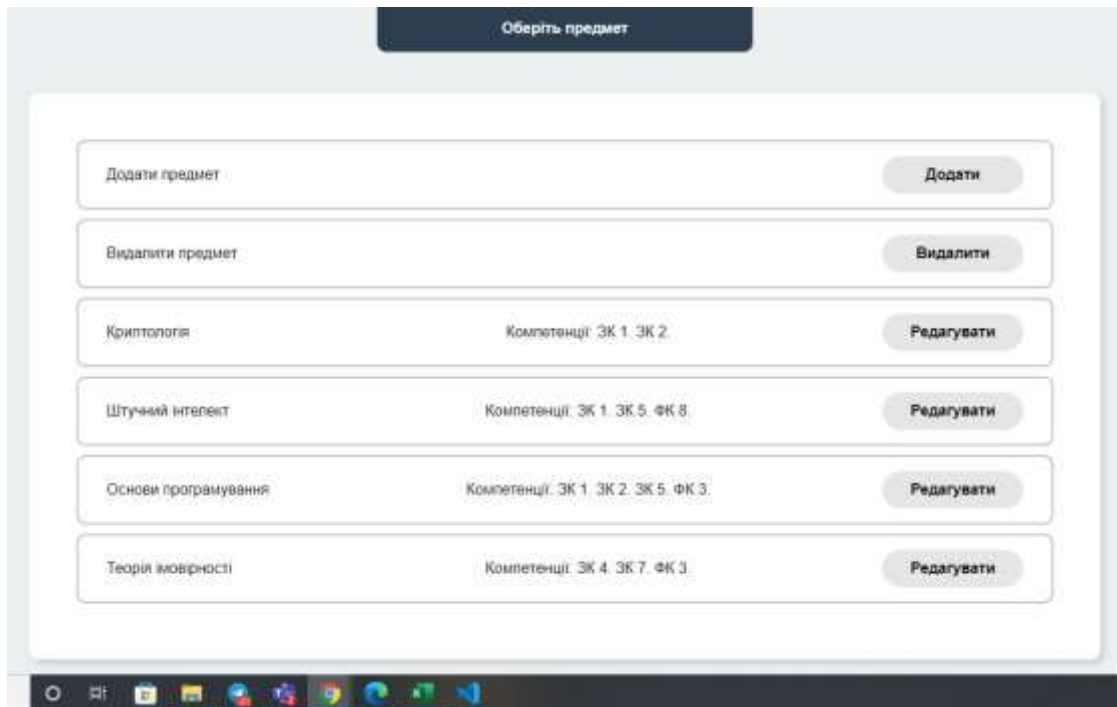


Рисунок 4.22 – Додавання професійних компетенцій

На рис. 4.23 зображено призначення завдання інструктором студенту. Як бачимо із рис.4.23, інструктор має привілеї призначати завдання, видаляти його та редагувати. Інструктор має можливість також призначати й видаляти оцінку за виконане завдання.

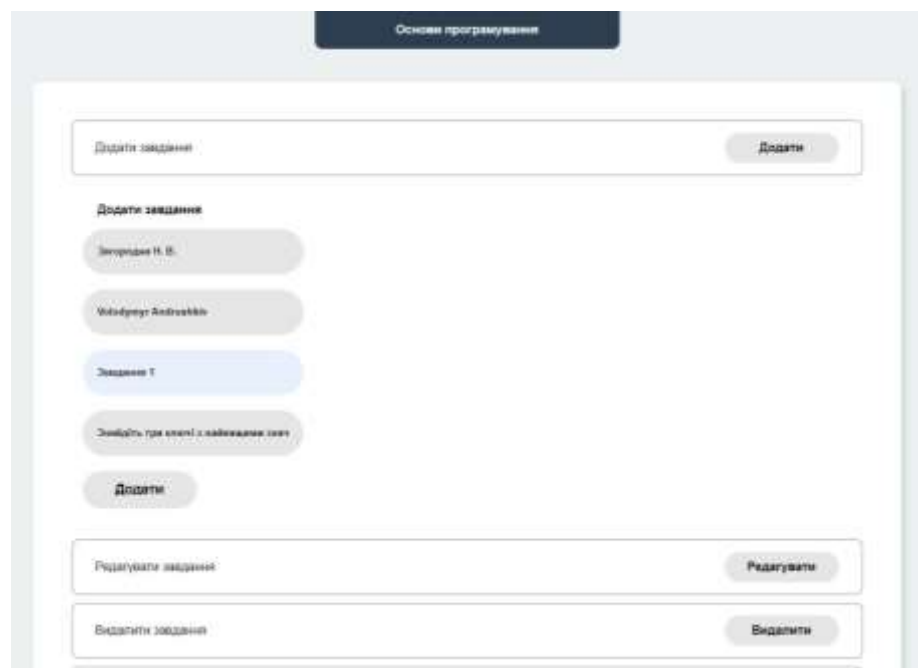


Рисунок 4.23 – Призначення завдання студенту

На рис. 4.24 наведено вікно доданого завдання інструктором. Відповідно інструктор може видалити розв'язок завдання та додати нове.

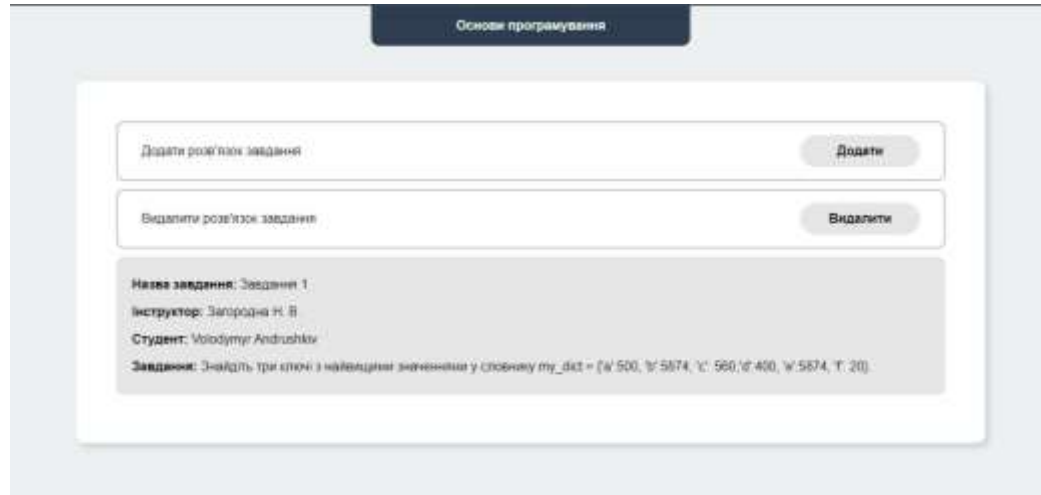


Рисунок 4.24 – Вікно додавання інструктором завдання

Як бачимо із рисунка 4.24, завдання має номер, дані про інструктора, який призначив його, дані студента, якому призначено завдання, назва завдання.

На рис.4.25 зображено вікно додавання розв'язку студентом завдання, призначеного інструктором.



Рисунок 4.25 – Вікно введення розв'язку завдання студентом

Після заповнення студентом розв'язку завдання інструктор із компанії має можливість призначити оцінку (рис. 4.26).

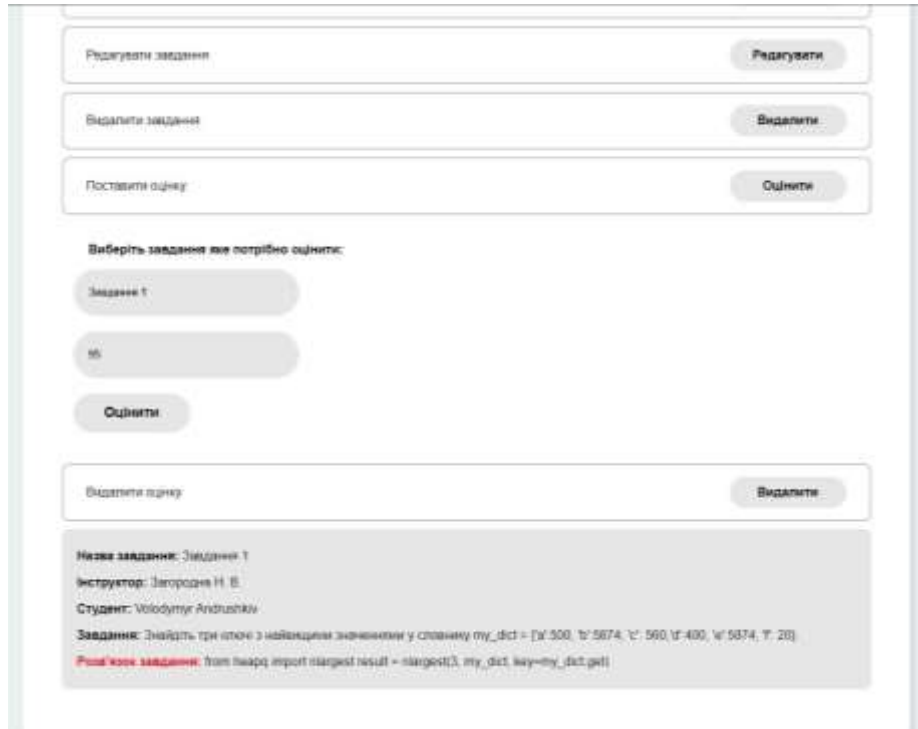


Рисунок 4.26 – Вікно призначення інструктором оцінки за виконане завдання студентом

Після виставлення оцінки інструктором студенту доступний перегляд вікна з результатом (рис. 4.27).

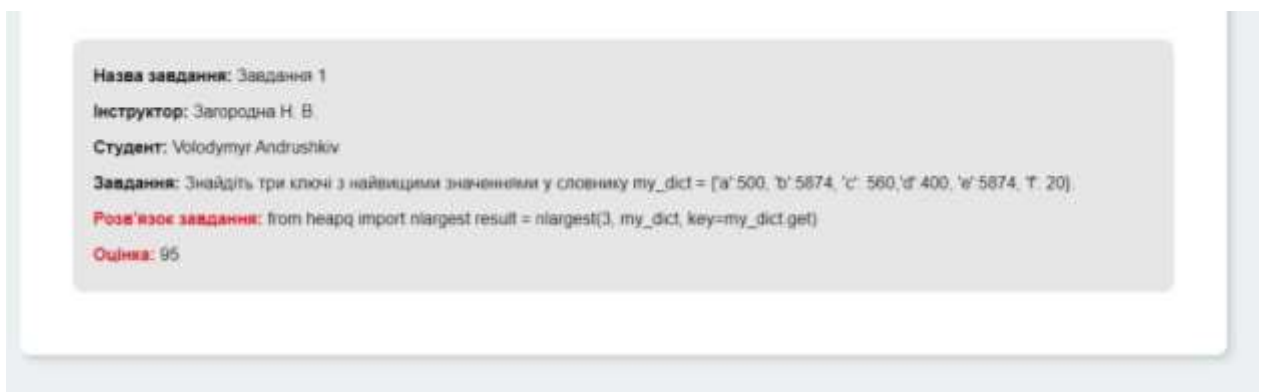


Рисунок 4.27 – Вікно оціненого завдання

Як бачимо з рис. 4.27, студенту доступний перегляд виконаного завдання, де вказано його номер, прізвище та ініціали інструктора (який призначив завдання та оцінив), назви та введеного розв'язку завдання, призначеної оцінки.

Інструктор з компанії може переглядати виконані завдання студентами та призначені оцінки за їх виконання в режимі журналу (рис. 4.28). Як бачимо з рис. 4.28, інструктору відображаються усі студенти, які за ним закріплені, та їхні виконані завдання з оцінками.

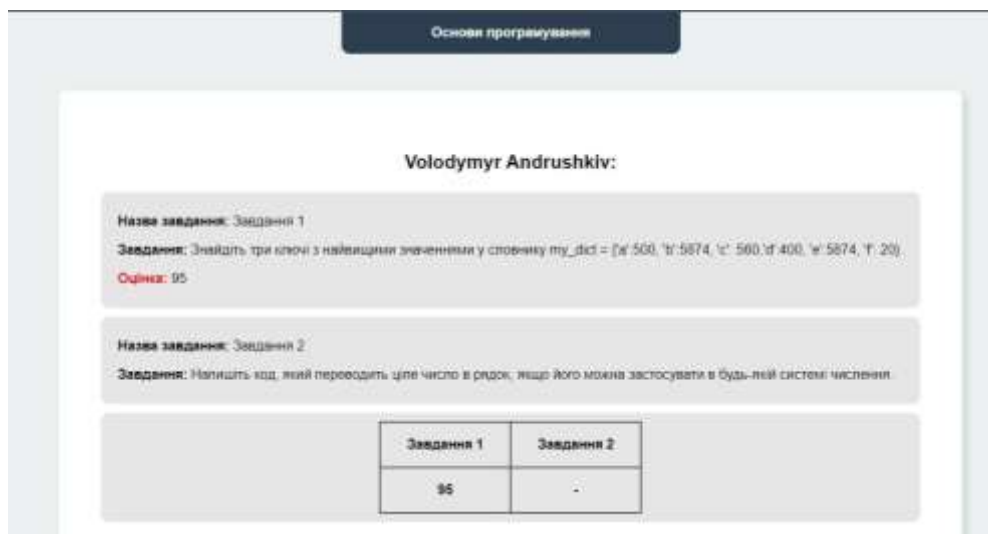


Рисунок 4.28 – Режим перегляду журналу інструктором

На рис. 4.29 зображено вибір інструктором компетенцій для розрахунку оптимізації вартості навчання студента в компанії.

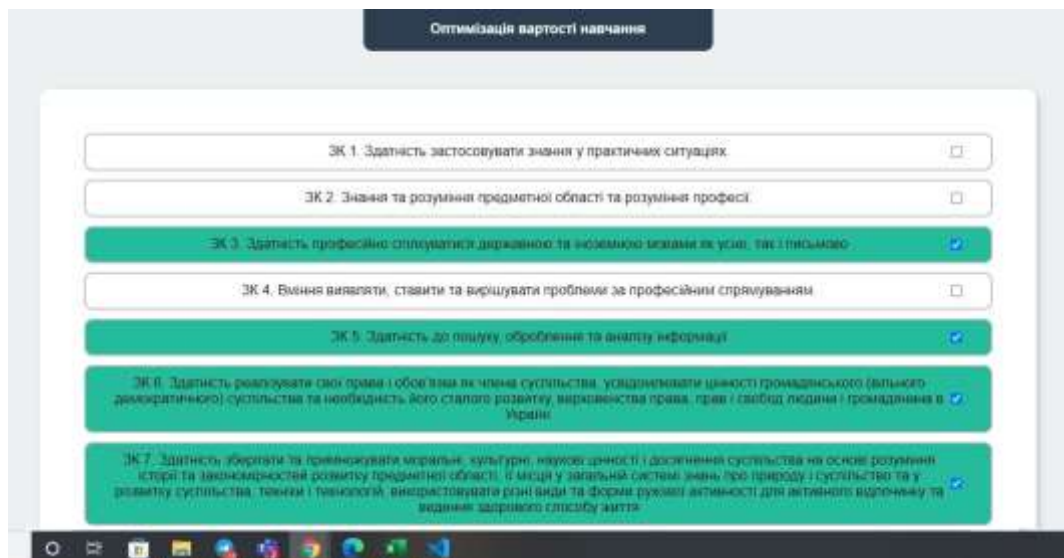


Рисунок 4.29 – Вибір компетенцій інструктором

Після того, як інструктор вибрав компетенції, він проводить їх ранжування методом АНР за допомогою програмного алгоритму (рис.4.30).

	ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях	ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професії	ПК 3 Здатність професійно спілкуватися державною та іншими мовами в усній, т...	ЗК 5 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації	ЗК 6 Здатність реалізувати свої права і обов'язки в членстві суспільства, урядов...	ЗК 7 Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності...
ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях						
ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професії						
ЗК 3 Здатність професійно спілкуватися державною та іншими мовами в усній, т...						

Рисунок 4.30 – Введення даних для ранжування

Відповідно до АНР методу інструктор вводить значення від одного до дев'яти у клітинки матриці (рис. 4.30). Після введення значень інструктор заповнює обмеження години вартості компетенцій та часу їх підготовки (рис.4.31).

ЗК 5 Здатність забезпечувати захист інформації, що обробляється в інформаційно...

Ефективність години

Мінімальна кількість годин на рік для підготовки вибраних компетенцій:

Максимальна кількість годин на рік для підготовки вибраних компетенцій:

Фонд грошей для навчання одного студента на рік:

Мінімальна кількість годин на рік для підготовки 1 компетенції:

Максимальна кількість годин на рік для підготовки 1 компетенції:

Готово

Рисунок 4.31 – Заповнення обмежень задачі оптимізації

Після введення усіх значень програмний алгоритм лінійної змішаної цілочислової оптимізації розраховує оптимальний результат.

На рис. 4.32 зображено вікно застосунку особистого кабінета студента, обрання предмета за вибором.

	Криптологія	Штучний інтелект	Основи програму	Теорія швидкості
Інтерес 0.2	9	1	6	1
Контакт 0.3	2	8	3	1
Рівень базових знань студента 0.5	1	7	9	8

Готово

Рисунок 4.32 – Вікно обрання предмета за вибором

Як бачимо на рис. 4.32, у заголовках рядків студент вводить ваги критеріїв, попередньо розраховані застосунком АНР, у клітинки оцінку кожному предмету за заданим критерієм. Таким чином, як зазначалося, журнал є компонентом, що об'єднує особисті кабінети користувачів та призначений для інтегрування навчання в компанії з академічним у навчальному закладі. Інтегрування відбувається через прикріплення завдання до предмета та компетенції освітньої програми спеціальності, за якою студент навчається в університеті. Інструктор призначає кожному завданню предмет та компетенцію, множину яких попередньо обрав із освітньої програми спеціальності для навчання студента в плановому періоді. Куратор із навчального закладу має право переглядати журнал із можливістю внесення приміток. Право перегляду журналу дає можливість куратору з навчального закладу ознайомитись із навчанням студента в компанії та відповідно вносити корективи до процесу навчання студента в університеті.

Висновки до четвертого розділу

Дослідження у даному розділі опубліковані у праці [67].

У розділі побудовано інформаційні моделі компонентів інформаційної технології дуальної форми освіти. Представлено комплексну структуру інформаційних компонентів веб-порталу. Використано UML моделювання для представлення елементів та зв'язків між ними для дуальної освіти.

1. Проведено моделювання динаміки знаннєвих потенціалів, визначено складові формування знаннєвого потенціалу в дуальній системі освіти.

2. Здійснено обґрунтування вибору мов моделювання.

3. Представлено структуру та елементи компонента підтримки прийняття рішень оцінювання навчання студента на робочому місці. За допомогою структурно логічних зв'язків відображено логіку оцінювання студента в компанії з урахуванням академічної складової навчання. Побудована інформаційна модель відображає адаптаційний характер оцінювання студента в кожному плановому періоді через зміну комбінації навчальних дисциплін та компетенцій, а також їх вагових коефіцієнтів. Інформаційна модель відображає різні підсистеми (компанії) ранжування, при цьому враховуючи їх концептуальну єдність у межах системи дуального навчання в навчальному закладі.

4. Побудовано інформаційну модель оптимізації вартості навчання студента в компанії в дуальній системі навчання. Елементи моделі та зв'язки між ними відображають взаємний вплив стейкхолдерів на оптимізаційну задачу через пріоритезацію компетенцій для цільової функції, при цьому враховуючи обов'язкову академічну складову навчання.

5. Розроблено інформаційну модель підтримки прийняття рішення студента з обрання предмета за вибором. Інформаційна модель відображає вплив кожного стейкхолдера на прийняття рішення студентом. У моделі представлені підсистеми стейкхолдерів з їх окремою системою критеріїв та складові алгоритму розрахунку моделі значень ранжування предметів.

6. Побудовано інформаційну модель вступу абітурієнта на дуальну форму освіти, яка відображає комплексний відбір компанією студентів із урахуванням впливу останніх на прийняття рішення фірмою.

7. У розділі сформовано вимоги до побудови веб-порталу, зокрема визначено реалізацію таких компонентів, як компонент оптимізації вартості навчання, компонент обрання дисципліни за вибором, компонент оцінювання навчання студента в компанії, компонент вступу абітурієнта на дуальну форму освіти. Визначено функціональну структуру веб-порталу яка складається з таких рівнів: баз даних, рівня програмного алгоритму, рівня інтерфейсу відображення та виведення даних.

8. Окреслено функціональну структуру компонентів веб-порталу дуального навчання. Структура веб-порталу складається з особистих кабінетів користувачів із різними правами доступу до компонентів підтримки прийняття рішень та їх редагування.

9. Реалізовано, зокрема, компонент онлайн журналу навчання з такими правами доступу для користувачів: студент має право записувати хід виконання завдання; інструктор призначає завдання та обирає дисципліну, компетенцію освітньої програми спеціальності, до якої належить призначене завдання, виставляє оцінки в журнал; куратор з навчального закладу має можливість перегляду журналу та додавання коментарів, заміток. В особистих кабінетах інструктору й студенту доступний перегляд освітньої програми спеціальності навчання, силабуси дисциплін. Інструктор та студент мають можливість переходу з особистих кабінетів за допомогою віджету в систему дистанційного навчання університету.

10. Реалізований компонент оптимізації вартості навчання в компанії, який складається з програмного алгоритму АНР методу, інтерфейсу введення даних та програмного алгоритму лінійної оптимізації з інтерфейсом введення параметрів обмежень задачі оптимізації. В особистих кабінетах користувачів реалізовано компонент АНР із інтерфейсом введення даних для розрахунку ваг критеріїв, компетенцій, дисциплін. Реалізовано компонент обрання дисципліни за вибором.

Веб-портал ралізовано за принципом архітектури Модель-Представлення-Контролер (MVC, Model-View-Controller). Для побудови порталу використано мову програмування PHP, бази даних MySQL, мову розмітки сторінок HTML, Java скрипт, мову програмування Python, каскадні таблиці стилів.

Висновки

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти як комплексу концептуальних компонентів для стейкхолдерів навчального процесу: модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання, метод оцінювання навчальних досягнень студента в інформаційних процесах дуальної освіти, модель оптимізації витрат компанії на навчання студента в інформаційних процесах дуальної освіти, модель інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному:

1. На основі аналізу наукових праць із формалізації інформаційних процесів дуальної освіти, інформаційних технологій їх реалізації, методів та моделей багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень показано необхідність розробки веб-порталу який включає компоненти підтримки прийняття рішень для дуальної освіти та обгрунтовано актуальне наукове завдання розроблення моделей та методів підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти як комплексу концептуальних компонентів для стейкхолдерів системи. Вирішення цього завдання уможливило забезпечення інтеграції взаємодії стейкхолдерів в освітньому процесі дуальної освіти, а також сформувало теоретичні та технологічні засади розробки таких компонентів підтримки прийняття рішень веб-порталу як вступу абітурієнта на дуальну форму навчання, оцінювання результатів навчання студента в компанії, оптимізації вартості навчання в компанії, обрання студентом предмету за вибором.

2. Розроблено метод оцінювання результатів навчання студента в компанії в інформаційних процесах дуальної освіти на базі формалізації складових навчального плану в дуальній освіті із використанням методу багатокритеріального аналізу TOPSIS, запропонований метод TOPSIS який за допомогою розробленої формули невідповідності підсистем альтернатив ранжування враховує ранжування в різних підсистемах на відміну від класичного

методу TOPSIS, що ранжує альтернативи в одній системі, що дало змогу врахувати академічну складову навчання в дуальній освіті через невідповідність компанії навчання студентів освітній програмі. Запропоновано використання нечітких інтуїціоністських множин для визначення та коригування суб'єктивності в призначених експертами оцінках у методі багатокритеріального аналізу TOPSIS, що дало змогу зменшити суб'єктивізм при призначенні оцінок експертами у методі TOPSIS і як наслідок підвищити точність оцінок.

Розроблено моделі підтримки прийняття рішень для оптимізації витрат компанії на навчання студента в інформаційних процесах дуальної освіти за рахунок: моделі інформаційного процесу підтримки прийняття рішень щодо вступу на дуальну форму навчання, моделі оптимізації вартості навчання в компанії та моделі інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти. Розроблена модель інформаційного процесу вступу абітурієнта на дуальну форму навчання, при виборі компанії для навчання абітурієнта враховує критерії обох стейкхолдерів: абітурієнта та компанії за рахунок удосконалення методу багатокритеріального аналізу VIKOR-TODIM, що уможливило взаємне ранжування, коли альтернатива (абітурієнт) є одночасно суб'єктом та об'єктом ранжування, що дозволило обирати компанією абітурієнтів із урахуванням їх взаємного ранжування, тобто коли ураховується бажання абітурієнта навчатись в компанії яка його ранжує у своїй системі. Розроблена модель оптимізації вартості навчання в компанії в інформаційних процесах дуальної освіти в цільовій функції визначає корисність компетенцій для роботодавця модифікованим методом аналізу ієрархій, що дозволило врахувати домінуючу думку компанії та дорадчу думку університету та уможливило оптимізацію вартості навчання в компанії через перерозподіл коштів в першу чергу на ті компетенції які найбільш корисні для компанії із врахуванням академічної складової навчання. Розроблена модель інформаційних процесів обрання студентом предмета за вибором в дуальній формі освіти з використанням модифікованого методу багатокритеріального аналізу VIKOR з виділенням критеріїв підсистем (куратора з навчального закладу, студента, інструктора з

компанії) та розроблення алгоритму визначення коефіцієнта максимальної групової корисності для кожної підсистеми ранжування дозволила врахувати думку експертів із власною системою критеріїв при обранні предмета студентом та здійснити вибір студентом предмета із урахуванням інтересів стейкхолдерів дуальної освіти та усунути невизначеність при отриманні кінцевих оцінок ранжування альтернатив.

3. Розроблено інформаційні моделі компонентів підтримки прийняття рішень в дуальній освіті таких як оцінювання навчання студента в компанії, оптимізації вартості навчання в компанії, обрання студентом предмета за вибором, вступу абітурієнта на дуальну форму навчання засобами мови моделювання UML, що дало змогу розробити прототип веб-порталу дуального навчання.

4. Реалізовано прототип веб-порталу дуального навчання із особистими кабінетами стейкхолдерів навчального процесу та компонентами підтримки прийняття рішень. Засобами розробки веб-порталу обґрунтовано мову програмування PHP та систему управління базами даних MySQL, Java скрипт, мову розмітки HTML, каскадні таблиці стилю CSS, мову програмування Python.

Розроблення веб-порталу та його складових компонентів підтримки прийняття рішень таких як вступу абітурієнта на дуальну форму навчання, оцінювання результатів навчання студента в компанії, оптимізації вартості навчання в компанії, обрання студентом предмету за вибором заклало вагомі підстави для ефективного системного вирішення проблем інтеграції навчання в різних підсистемах дуальної освіти, удосконалення інформаційних процесів дуальної освіти. У дисертаційному дослідженні вирішено поставлені завдання, зокрема розроблено моделі та методи підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти, реалізовано на їх основі прототип веб-порталу.

Список використаних джерел

- [1] Бусел В.Т. Великий тлумачний словник сучасної української мови (з дод. і допов.)/Уклад. і голов. ред. В.Т. Бусел. Київ: Ірпінь: ВТФ «Перун», 2005. 1728 с.
- [2] Вем'ян В. Г., Тер-Ованес'ян В. Г. Дуальна форма професійної освіти як умова ефективного рішення завдань модернізації освіти. *Психологія: реальність і перспективи*. Вип. 5, 2015. С. 29-34. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prp_2015_5_8
- [3] Горбулін В. П., Додонов А. Г., Ланде Д. В. Інформаційні операції та безпека суспільства: загрози, протидія, моделювання: монографія. Київ: Інтертехнологія, 2009. 164 с.
- [4] Готько О., Чайковська О. Інформаційно-комунікаційні технології – як сучасний засіб навчання в освіті. *Молодь і ринок*. № 4. С. 130-134. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mir_2015_4_28
- [5] Данильчук Л. Сутність і зміст поняття “інформаційно-комунікаційні технології”. *Педагогіка і психологія професійної освіти*. Львів, 2012. № 4. С. 123–130.
- [6] Демографічна та соціальна статистика . Освіта. Державна служба статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/osv.htm. (дата звернення: 30.11.2020).
- [7] Демографічна та соціальна статистика. Ринок праці. Державна служба статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/dem/r_pr.htm. (дата звернення 30.11.2020).
- [8] Державна служба зайнятості URL: <https://www.dcz.gov.ua/analitics/68> (дата звернення: 25.11. 2018).
- [9] Докторович В. М. Дуальна система підготовки кваліфікованих робітників як форма інтеграції професійної освіти і виробництва. *Теоретико-методичні основи підготовки конкурентноздатних фахівців у контексті сучасного ринку праці : зб. матеріалів наук.-практ. конф., Кривий Ріг, 6 квіт. 2017 р. / НАПН України [та ін. ; за заг. ред. Л. М. Сергєєвої]. Кривий Ріг, 2017. С. 36–39.*

- [10] Дращиця С. А., Дращиця О. М. Дуальне навчання, як інтерактивна форма організації навчального процесу. *Збірник наукових праць Хмельницького інституту соціальних технологій Університету "Україна"*, 2016. № 12. С. 17-20. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpkhist_2016_12_5
- [11] Дуальна освіта. Офіційний сайт Міністерства освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/profesijno-tehnicna-osvita/dualna-osvita?=&print>. (дата звернення: 25.03.2019).
- [12] Зарицька О. Л. Дистанційна освіта як новітня інформаційна технологія. *Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка*. 2003. №13. С. 233–235.
- [13] Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Бабіч К. С. та ін. Інформаційні системи і технології : навч. посіб. К. : НАУ, 2013. 324 с.
- [14] Кареліна О. В. Концепція інтердіяльнісного навчання. *Педагогічний процес: теорія і практика* (Серія: Педагогіка). 2016. №4 (55). С. 12–16.
- [15] Кивлюк О. П. Моделювання інформаційних процесів в контексті інформатизації суспільства. *Гілея: науковий вісник*. 2014. №80. С. 222–226.
- [16] Ланде Д. В. Тренди відображення інформаційних операцій в інформаційному просторі. *Інформація і право*. 2013. №1. С. 82–88.
- [17] Леонтьев А. В. Деятельность. Сознание. Личность. Москва: Смысл : Академия, 2005. 352 с..
- [18] Лечаченко Т. А. Академічний капіталізм – нова парадигма реформування вищої школи. *Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 27-28 листопада 2019 року. Т : ТНТУ, 2019. Том 3. С. 139–140.
- [19] Лечаченко Т. А. Модель інформаційної технології дуальної форми освіти. *Матеріали I Міжнар. спеціаліз. наук. конф., "Сучасні напрямки розвитку автоматизації, транспортних систем, технічних та комп'ютерних наук"*, 30 квіт. 2021 р., м. Полтава, Т.: Міжнародний центр наукових досліджень, 2021. С. 61–64.

- [20] Лечаченко Т. А. Постановка задачі оптимізації вартості навчання в системі дуальної форми освіти. *Матеріали VIII науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“*, 9-10 грудня 2020 року. Т. : ТНТУ. 2020. С. 178.
- [21] Лечаченко Т. А. Реалізація інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти. *Матеріали 10-ї науково-практичної конференції "Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі"*. 21-23 листопада 2018 року, Львів, Т.: Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2018, С. 30–37.
- [22] 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*, 20-21 червня 2019 року. Т. : ФОП Паляниця В. А. 2019. С. 32–34.
- [23] Лечаченко Т. Модель оцінювання результатів навчання студента в системі дуальної освіти. *ІМСТ*, 11-12 грудня 2019 року. Т.: ТНТУ. 2019. С. 11.
- [24] Львович К. И., Преображенский Ю. П., Управление функционированием человеко-машинной информационной системой на основе многоальтернативной оптимизации компетенций персонала. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018. С. 240-248.
- [25] Мамедова М. Г., Джабраилова З. Г. Многокритериальная оптимизация задач управления человеческими ресурсами на базе модифицированного метода TOPSIS. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2015. №2 (4(74)). С. 48–62.
- [26] Назарук М. В. Інформаційні технології моделювання освітнього соціокомунікаційного середовища великого міста : дис. канд. техн. наук : 05.13.06. Національний університет “Львівська політехніка”. Львів, 2018. 169 с.
- [27] Наукова-методична конференція ТДАТУ “Дуальна освіта: стан та перспективи”. Офіційний сайт Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/naukova->

metodychna-konferencija-tdata-dualna-osvita-stan-ta-perspektyvy/.(дата звернення: 25.03.2019).

[28] Питання стипендіального забезпечення: постанова Кабінету Міністрів України від 12.07. 2004 р. N882. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/882-2004-п#Text> (дата звернення: 30.11.2018).

[29] Погорелов С. М. Особливості застосування інформаційних технологій в менеджменті та економіці. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (економічні науки)* : зб. наук. пр. Харків : НТУ "ХПІ", 2018. № 19 (1295). С. 151-155.

[30] Про вищу освіту: Закон України від 01 липня 2014 р. № 1556-VII (зі змінами і доповненнями). Відомості Верховної Ради України. 2014. № 37-38. Ст. 2004. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>

[31] Про затвердження Положення про дистанційне навчання: Наказ Міністерства освіти і науки від 25.04.2013р. № 466 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13#Text>

[32] Про затвердження Положення про дуальну форму здобуття професійної (професійно-технічної) освіти : Наказ Міністерства освіти і науки від 12.12.2019 р. № 1551. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0193-20#n14>"

[33] Про затвердження Умов прийому на навчання для здобуття вищої освіти в 2021 році: Наказ (№ 1274). Міністерство освіти і науки України. (2020, 15 жовтня).URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2021/Nakaz%201274.pdf>

[34] Про Національну програму інформатизації. Закон України від 04.02.1998 № 74/98-ВР. Відомості Верховної Ради України, 1998, № 27-28, ст.181 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/98-вр#Text>

[35] Про освіту. Закон України №38-39, Верховна Рада України URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>.

[36] Про професійну (професійно-технічну) освіту Закон України від 10.02.1998 № 103/98-ВР (зі змінами і доповненнями). Відомості Верховної Ради України, 1998, №32, ст.215. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/103/98-вр#Text>

- [37] Про схвалення Концепції підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти. Розпорядження Кабінету Міністрів України. затверджене 19.09. 2018 № 660-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/660-2018-p#Text> (дата звернення 09.11. 2020).
- [38] Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии, 2005.
- [39] Саати Т. Л., Кернс К. Аналитическое планирование: организация, 1991. 224 с.
- [40] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
- [41] Скіцько В. І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. №5. С. 33–40.
- [42] Слободян О., Стадний Є. Українські студенти за кордоном: скільки та чому. CEDOS. 2016. URL: <http://cedos.org.ua/uk/osvita/ukrainski-studenty-za-kordonom-skilky-ta-chomu>.
- [43] Студенти СУМНАУ закінчили магістратуру за дуальною формою освіти. Міністерство освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/studenti-sumnau-zakinchili-magistraturu-za-dualnoyu-formoyu-viti?=&print>. (дата звернення 25.03.2019).
- [44] Технологія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Технологія> (дата звернення: 06.12.2018).
- [45] Україна стала одним з лідерів у впровадженні технології #Blockchain у світі. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2397530-ukraina-sered-svitovih-lideriv-iz-vprovadzenna-blockchain.html>. (дата звернення: 26.04.2019).
- [46] Федунчик Л. Г. Ринок праці в Україні: проблеми та напрями їх вирішення. *Ринок праці та зайнятість населення*. 2016. № 2. С. 31-34. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rpzn_2016_2_8
- [47] Черба В. М., Тоболь Г. Д., Мушкаторова Д. В. Причини освітніх міграцій українських студентів за кордон. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017. №12. С. 68–72.

- [48] Юдкова К. В. Особливості визначення поняття "інформаційні технології". *Інформація і право*, 2015. № 1. С. 63-67. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Infpr_2015_1_9
- [49] Яковенко К. В. Реалізація дуальної системи освіти в підготовці майбутніх фахівців з інформаційних технологій. Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти : зб. наук. пр. / ред. О. Г. Романовський. Харків : НТУ "ХПІ", 2016. Вип. 45 (49) : *матер. 2-ї міжнар. наук.-практ. конф. : "Ідеї академіка Івана Зязюна у працях його учнів і соратників"*, 25-26 травня 2016 р. Ч. 1. С. 205-213.
- [50] Яковів І. Б. Базова модель інформаційних процесів та поведінки системи кіберзахисту. *Information Technology and Security: Ukrainian research papers collection*, 2019. №2. С. 183–196.
- [51] Яненко І. Г. Передумови впровадження концепції "Індустрія 4.0" в Україні. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*, 2018. № 6(2). С. 45-49. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2018_6%282%29__13
- [52] Ясенова І. С. Математична модель технології формування навчального плану відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*, 2007. №139.
- [53] Abdalazeim A., Meziane F. A review of the generation of requirements specification in natural language using objects UML models and domain ontology. *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 189. P. 328–334. doi:10.1016/j.procs.2021.05.102
- [54] Ablahd A. Z. Use Wiki for Building an On-Line Collaborative Learning. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 25. No. 2. P. 12–17
- [55] Adali E. A., Isik A. T. The multi-objective decision making methods based on MULTIMOORA and MOOSRA for the laptop selection problem. *Journal of Industrial Engineering International*. 2017. Vol. 13. No. 2. P. 229–237.
- [56] Alieinykov I., Thamer K. A., Zhuravskiy Y., Sova O., Smirnova N., Zhyvotovskiy R., ... Shyshatskiy A.. Development of a method of fuzzy evaluation of information and

analytical support of strategic management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6. No. 2. 2019. P. 16–27.

[57] An introduction to The Dual VET system The secret behind the success of Germany and Austria. 2004. URL: https://www.dualvet.eu/docs/productos/1_The%20Dual%20VET%20system. (дата зверення: 25.10.2018).

[58] Arashpour M., Kamat V., Bai Y., Wakefield R. Abbasi B. Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: Theorizing cost analysis of process integration in off-site construction. *Automation in Construction*. 2018. 95. P. 1–9.

[59] Argote L. and Fahrenkopf E. Knowledge transfer in organizations: The roles of members, tasks, tools, and networks *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 136. 2016. P.146–159.

[60] Atanassov K. T. *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications*, vol. 35. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 1999.

[61] Azadeh A., Ghaderi S. F., Mirjalili M., Moghaddam M. Integration of analytic hierarchy process and data envelopment analysis for assessment and optimization of personnel productivity in a large industrial bank. *Expert Systems with Applications*. 2011. 38(5). P. 5212-5225.

[62] Backes-Gellner U., & Rupietta C. How firms' participation in apprenticeship training fosters knowledge diffusion and innovation. *Journal of Business Economics*. 2018.

[63] Bello M., Bello R., Nowé A., García-Lorenzo M. M. A method for the team selection problem between two decision-makers using the ant colony optimization. *In Soft Computing Applications for Group Decision-making and Consensus Modeling*. Springer. Cham. 2018. P. 391–410.

[64] Bhatt B., Nandu M. *An Overview of Structural UML Diagrams*. 2021.

[65] Bolli T., Caves K. M., Renold U., Buergi J. B. Beyond employer engagement: measuring education-employment linkage in vocational education and training programmes. *Journal of Vocational Education & Training*. 2018. 70.4. P. 524–563.

- [66] Bomba A, Nazaruk M, Kunanets N, Pasichnyk V., Bilak Y. Modeling the redistribution processes of knowledge potential in the formation of the professional competency system. *14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*. Lviv. Ukraine. 2019 , p.197-201.
- [67] 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.
- [68] Bomba A., Nazaruk M., Pasichnyk V., Kunanets N. Modeling the Dynamics of Knowledge Potential of Agents in the Educational Social and Communication Environment. *Advances in Intelligent Systems and Computing IV*. 1080. 2019. P. 17-24.
- [69] Brans J. P., Mareschal B. The PROMETHEE methods for MCDM; the PROMCALC, GAIA and BANKADVISER software. In *Readings in multiple criteria decision aid*. Springer. Berlin. Heidelberg. 1990. P. 216–252.
- [70] Brauers W. K. Optimization methods for a stakeholder society: a revolution in economic thinking by multi-objective optimization. Springer Science & Business Media. Vol. 73. 2003.
- [71] Capaldo G. ,Zollo G. “Applying fuzzy logic to personnel assessment: a case study”. *Omega*. Vol. 29. No. 6. 2001. P. 585-597.
- [72] Carpio D. X., et al. Skills for a Modern Ukraine. Washington: Overview booklet. World Bank, License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. 2017.
- [73] Cattaneo A. "REALTO: A platform for integrated vocational education." URL:https://regiosuisse.ch/sites/default/files/2018-12/WSF2018%20Poster%2010_REALTO%20A%20platform%20for%20integrated%20vocational%20education_SFIVET.pdf
- [74] Chang D. Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*. 1996. Vol 95. No. 3. P. 649–655.
- [75] Charles V., Fare R., Grosskopf S. A translation invariant pure DEA model. *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 249. No. 1. P. 390–392.

- [76] Chen C-T., Lin C-T., Huang S-F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International journal of production economics*. 2006. Vol. 102. No. 2. P. 289–301.
- [77] Chen R., Liang C., Gu D., Zhao H. A competence-time-quality scheduling model of multi-skilled staff for IT project portfolio. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 139.
- [78] Colvin R., Ian J. H. "A semantics for Behavior Trees." 2010. P.1–26
- [79] Deissinger T. The German dual vocational education and training system as ‘good practice’?. *Local Economy*. 2015. Vol. 30. No. 5. P. 557–567.
- [80] Deissinger T., Gonon P. Stakeholders in the German and Swiss vocational educational and training system: Their role in innovating apprenticeships against the background of academisation. *Education+ Training*. 2016.
- [81] Dionisius R., Muehlemann S., Pfeifer H., Walden G., Wenzelmann F., Wolter S. C. Cost and benefit of apprenticeship training-A comparison of Germany and Switzerland. 2008.
- [82] Education and Training Monitor 2016: Hungary. Country report. European Commission. 2016. URL: https://www.nive.hu/site/refernet/images/dokumentumok/Dokumentumok_2017/Education_and_training_monitor_Hungary.pdf (дата звернення 19.10.2018).
- [83] Euler D. Germany's dual vocational training system: a model for other countries? 2013.
- [84] Eurostat. Education and training Union. European Commission. URL:<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (дата звернення 05.11. 2020).
- [85] Eurostat. European Commission. URL:<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9105174/3-31072018-AP-EN/> (Accessed on Oct. 25, 2020).
- [86] Fauzan R. et al. Class diagram similarity measurement: a different approach. *In: 2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE)*. IEEE. 2018. P. 215–219.

- [87] Fauzan R., Siahaan D., Rochimah S., Triandini E. Use Case Diagram Similarity Measurement: A New Approach. 2019 12th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS). 2019. doi:10.1109/icts.2019.8850978
- [88] Federal Act on Vocational and Professional Education and Training (VPETA) of 13 December 2002. Swiss Confederation.
- [89] Figueira J. R., Mousseau V., Roy B. ELECTRE methods. In Multiple criteria decision analysis. Springer. New York. NY. 2016. P. 155–185.
- [90] Frazer G. Learning the master's trade: apprenticeship and human capital in Ghana. *Journal of Development Economics*. 2006. Vol. 81. No. 2. P. 259–298.
- [91] Fujiwara D. Valuing the Impact of Adult Learning: An analysis of the effect of adult learning on different domains in life. 2012. 28 p.
- [92] Für das Erziehungs-, Deutscher Ausschuss. und Bildungswesen (1966): Empfehlungen für die Neuordnung der Höheren Schule (1964). ders.: Empfehlungen und Gutachten. 1953. 1965. P. 527–735.
- [93] Garibalda J. M., Jaroszewski M., Musikasuwan S. Nonstationary fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2008. Vol. 16. No. 4. P. 1072–1086.
- [94] Germany. Federal ministry of education and research (BMBF). Reform of vocational education and training in Germany: the 2005 Vocational Training Act (Berufsbildungsgesetz 2005). 2005.
- [95] Gessler M. "The lack of collaboration between companies and schools in the German dual apprenticeship system: Historical background and recent data." *International Journal for Research in Vocational Education and Training (IJRVET)*. Vol. 4. No. 2 . 2017. P. 164–195.
- [96] Gessler M., "Areas of Learning: The shift towards work and competence orientation within the School-based Vocational Education in the German Dual Apprenticeship System." *Competence-based Vocational and Professional Education*. Springer. Cham. 2017. P. 695–717.
- [97] Ghahfarokhi P. S., Aghaee N. G. , Taheri E. "A novel fuzzy approach for manager selection in organizations through multi agent simulation with personal characteristics," *Advances in Fuzzy Logic and Technology*. Springer. Cham. 2017. P. 117–130.

- [98] Giacchi E., La Corte A., Di Pietro E. "A Dynamic and Context-aware Model of Knowledge Transfer and Learning using a Decision Making Perspective." *COMPLEXIS*. 2016.
- [99] Gomes L, Lima M. TODIM: basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts. *Found Comput Decis Sci*. 1992. Vol. 16. No. 4. P.113–127.
- [100] Gomes L., Lima M., From modeling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: a look at prospect theory and the additive difference model. *Found Comput Decis Sci*. 1992. Vol. 17. No. 3. P. 171–184.
- [101] Gou X., Xu Z., Liao H., Herrera F. Probabilistic double hierarchy linguistic term set and its use in designing an improved VIKOR method: The application in smart healthcare. *Journal of the Operational Research Society*. 2020. P. 1–20.
- [102] Graf L. The hybridization of vocational training and higher education in Austria, Germany, and Switzerland. Verlag Barbara Budrich. 2013.
- [103] Gul M., Celik E., Aydin N., Gumus A. T., Guneri A. F. A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. *Applied Soft Computing*. 2016. Vol 46. P. 60–89.
- [104] Gutjahr W. J., Katzensteiner S., Reiter P., Stummer C., Denk M. Competence-driven project portfolio selection, scheduling and staff assignment. *Central European Journal of Operations Research*. 2008. Vol. 16. No. 3. P. 281–306.
- [105] Henao C. A., Ferrer J. C., Muñoz J. C., Vera J. Multiskilling with closed chains in a service industry: A robust optimization approach. *International Journal of Production Economics*. 2016. 179. P. 166–178.
- [106] Hippach-Schneider U., Huismann A. Vocational education and training in Europe: Germany. Cedefop ReferNet VET in Europe reports 2018. 2019. URL:http://libserver.cedefop.europa.eu/vetelib/2019/ReferNet_Germany_VET_in_Europe_2018.pdf
- [107] Hirshman B. R., Jesse S. C., Carley M. K. "Leaving us in tiers: can homophily be used to generate tiering effects?." *Computational and Mathematical Organization Theory*. Vol. 17. No. 4. 2011. P. 318–343.

- [108] Holoshchuk R., Pasichnyk V., Kunanets N., Veretennikova. Information modeling of dual education in the field of IT. *In: Conference on Computer Science and Information Technologies*. Springer. Cham. 2019. P. 637–646.
- [109] Hrod I., Lechachenko T., Mathematical model of training optimization in the company as a component of information technology for dual education system. *Paradigm of knowledge*. 2021. Vol. 3. No. 47.. P. 105-116.
- [110] Hwang C. L., Yoon K. Multiple attribute decision making: a state of the art survey. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. 1981. Vol. 186. P. 58–191.
- [111] Improving the employability of young people through dual vocational training. Possibilities in the V4 economic area. Country examples: Czech Republic, Poland, Slovakia and Hungary. Visegrad Fund. 2015. URL: <https://www.zrp.pl/pliki/V4%20study%20on%20dual%20training%20English+518.pdf>. (дата звернення 19.10.2018).
- [112] Izquierdo, N. V., Gaitan, M., Lezama, O. B. P., Zelaya, N. A. L., Silva, J., Garcia, R. R. M., & Dorta, R. G. Modeling and Simulating for the Treatment of Subjectivity in the Process of Choosing Personnel Using Fuzzy Logic. In *International Conference on Smart City and Informatization*. Springer, Singapore. 2019. P. 243–252.
- [113] Jacobson L., Booch J. R. G. The unified modeling language reference manual. 2021.
- [114] Jenschke B., Schober K., Langner J. Career guidance in the life course: Structures and services in Germany. 2014. URL: https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/52944/ssoar-2014-jenschke_et_al-Career_Guidance_in_the_Life.pdf?sequence=1
- [115] Ji P., Zhang H., Wang J. A projection-based TODIM method under multi-valued neutrosophic environments and its application in personnel selection. *Neural Computing and Applications*. 2018. Vol. 29. No. 1. P. 221–234.
- [116] Ju Y., Wang A. Extension of VIKOR method for multi-criteria group decision making problem with linguistic information. *Applied Mathematical Modelling*. 2013. Vol. 37. No. 5. P. 3112–3125.

- [117] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econom J Econom Soc.* 1979. Vol. 47. No. 2. P.263–292.
- [118] Kahraman C., Öztayşi B., Sarı İ. U., Turanoğlu E. Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems.* 2014. Vol. 59. P. 48–57.
- [119] Keshavarz G., M. Zavadskas, E. K. Turskis Z., Antucheviciene J. A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research.* Vol. 50. No. 3. 2016
- [120] Khalid M. N. A., Yusof U. K., Xiang L. G. “Model student selection using fuzzy logic reasoning approach,” *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Advanced Informatics: Concepts, Theory and Application (ICAICTA).* 2016. P. 1–6.
- [121] Kim C.-H., Weston R. H., Hodgson A., Lee K.-H. The complementary use of IDEF and UML modelling approaches. *Computers in Industry.* 2003. Vol. 50. No.1. P. 35–56. [https://doi:10.1016/s0166-3615\(02\)00145-8](https://doi:10.1016/s0166-3615(02)00145-8).
- [122] Klosowski G., Gola A., Świc A. Application of fuzzy logic in assigning workers to production tasks. *In: Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference.* Springer. Cham. 2016. P. 505–513.
- [123] KOF Swiss Economic Institute. KOF Factbook Education System Switzerland. KOF Factbook Education System Series, ed. 1. Zurich: ETH Zurich. 2015.
- [124] Koudahl P. D. Vocational education and training: dual education and economic crises. *Procedia-Social and Behavioral Sciences.* 2010. Vol. 9. P. 1900-1905.
- [125] Kruus H., Robal T., Jervan G. Teaching modeling in SysML/UML and problems encountered. *2014 25th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE).* 2014. <https://doi:10.1109/eaeie.2014.6879380>
- [126] Kurt Ş., Özbakır L. Career Planning with Personality Inventories and Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *In International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems.* Springer. Cham. 2019. P. 644–652.
- [127] Laarhoven P. J M. Pedrycz W. “A Fuzzy Extension of Satty's Priority”. *Fuzzy Sets and Systems.* 1983. Vol. 11. P. 229–241.

- [128] Langthaler M. The transfer of the Austrian dual system of vocational education to transition and developing countries: An analysis from a developmental perspective. ÖFSE Working Paper. 2015.
- [129] Latchem C., et al. Using ICTs and blended learning in transforming technical and vocational education and training. UNESCO Publishing. 2017.
- [130] Lechachenko T. AHP-TOPSIS method as a component of information technology for dual education system. *Innovative Solution in Modern Science*. 2021. Vol 4. No. 48 (48). P. 80– 91.
- [131] 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. Vol 47. No. 3. P. 31– 38.
- [132] 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. Vol 102. No. 2. P. 121 – 129.
- [133] Lengelle R., Meijers F., Poell R., Geijssel F., Post M. Career writing as a dialogue about work experience: A recipe for luck readiness? *Int. J. Educ. Vocat. Guidance*. 2015. Vol 16. No.1. P. 29–43.. <https://doi.org/10.1007/s10775-014-9283-1>
- [134] Li H., Wang W., Fan L., Li Q., Chen X. A novel hybrid MCDM model for machine tool selection using fuzzy DEMATEL, entropy weighting and later defuzzification VIKOR. *Applied Soft Computing*. 2020. Vol. 91. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106207>
- [135] Liang D., Zhang Y., Xu Z., Jamaldeen A. Pythagorean fuzzy VIKOR approaches based on TODIM for evaluating internet banking website quality of Ghanaian banking industry. *Applied Soft Computing*. 2019. Vol. 78. P. 583–594.
- [136] Lin M., Chen Z., Xu Z., Gou X., Herrera F. Score function based on concentration degree for probabilistic linguistic term sets: an application to TOPSIS and VIKOR. *Information Sciences*. 2021. Vol. 551. P. 270–290.
- [137] Lisichko E., Postnikova E., Tverdokhlebov S. "Formation of professional competence of students in engineering education." *Creative Education*. Vol 7. No. 3. 2013. P. 104–106.

- [138] Lööf, H., & Broström, A.. Does knowledge diffusion between university and industry increase innovativeness?. *The Journal of Technology Transfer*. Vol. 33. No.1. 2008. P.73–90.
- [139] Lytvyn V., Vysotska V., Pukach P., Bobyk I., Pakholok B. A method for constructing recruitment rules based on the analysis of a specialist's competences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 84. No. 6(2). P. 4–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85454>
- [140] Masdonati J., Massoudi K., Rossier J. Effectiveness of career counseling and the impact of the working alliance. *Journal of career development*. 2009. Vol. 36. No. 2. P. 183-203.
- [141] Mejhed Mkhinini M., Labbani-Narsis O., Nicolle C. Combining UML and ontology: An exploratory survey. *Computer Science Review*. 2020. Vol. 35. doi:10.1016/j.cosrev.2019.100223
- [142] Miao Y., Hoppe H., U., Xiaogang D., . Support Work-process-oriented Curricula through Integrating Learning Design with Mixed-reality Environments. *In: 2019 IEEE 19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. IEEE. 2019. P. 354-356.
- [143] Mizumoto M. Tanaka K. Some properties of fuzzy sets of type 2. *Information and control*. 1976. Vol. 31. No. 4. P. 312–340.
- [144] Mkhinini M. M., Labbani O., Nicolle C. Enterprise Knowledge Modeling, UML vs Ontology: Formal Evaluation. *2019 IEEE 15th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*. 2019. doi:10.1109/iccp48234.2019.8959686
- [145] Modlane I. G. *With Dual Training in the World of Work*. Budapest: Hungarian Chamber of Commerce and Industry. 2015. 56 p.
- [146] Morone P., Richard T. "Knowledge diffusion dynamics and network properties of face-to-face interactions." *Journal of evolutionary economics*. Vol. 14. No. 3. 2004. P. 327–351.

- [147] Mulder F. The Logic of National Policies and Strategies for Open Educational Resources. *International Review of Research in Open and Distance Learning*. Vol. 14. No. 2. 2013. P. 96–104.
- [148] Noy N.F., McGuinness D.L. Ontology development 101: a guide to creating your first ontology. stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and stanford medical informatics technical report SMI-2001-0880. March 2001 (2001).
- [149] Onat N. C., Gumus S., Kucukvar M., Tatari O. Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. *Sustainable Production and Consumption*. 2016. Vol. 6. P. 12–25.
- [150] Opricovic S., Tzeng G. H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*. 2004. Vol. 156. No. 2. P. 445–455.
- [151] Ordinance on Vocational and Professional Education and Training (Vocational and Professional Education and Training Ordinance, VPETO) of 19 November 2003 (Status as of 8 February 2021) The Swiss Federal Council, on the basis of Article 65 paragraph 1 of the Vocational and Professional Education and Training Act of 13 December 2002 (VPETA), URL: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2003/748/en> (дата зверення 25.04.2021)
- [152] Osis J., Donins U. Topological UML modeling: an improved approach for domain modeling and software development. Elsevier. 2017.
- [153] Pessach D., Singer G., Avrahami D., Ben-Gal H. C., Shmueli E., Ben-Gal I. Employees recruitment: A prescriptive analytics approach via machine learning and mathematical programming. *Decision Support Systems*. 2020. Vol. 134.
- [154] Reka Tózsá . Adapting a Dual System in Tertiary Education the Case of Hungary. 2015.URL:https://www.academia.edu/21060947/Adapting_a_Dual_System_in_Tertiary_Education_the_Case_of_Hungary (дата зверення 22.10.2018).
- [155] Rouyendegh B. D. The intuitionistic fuzzy ELECTRE model. *International Journal of Management Science and Engineering Management*. 2018. Vol. 13. No. 2. P.139–145.

- [156] Saaty T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*. 1977. Vol. 15. No. 3. P. 234–281.
- [157] Samanlioglu F., Taskaya Y. E., Gulen U. C., Cokcan O. A fuzzy AHP–TOPSIS-based group decision-making approach to IT personnel selection. *International Journal of Fuzzy Systems*. Vol. 20. No. 5. 2018. P. 1576–1591.
- [158] Sanayei A., Mousavi S. F., Yazdankhah A. Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 2010. Vol. 37. No. 1. P. 24–30.
- [159] Schwebdimann B. A., et al. The ‘Erfahrraum’: A pedagogical model for designing educational technologies in dual vocational systems. *Journal of Vocational Education & Training*. 2015. Vol. 67. No. 3. P. 367–396
- [160] Senapati T., Yager R. R. Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2020. Vol. 11. No. 2. P. 663–674.
- [161] SERI. Vocational and Professional Education and Training in Switzerland. *Facts and Figures 2019*. 2018.
- [162] Smarandache F. Neutrosophic set—a generalization of the intuitionistic fuzzy set. *International journal of pure and applied mathematics*. 2005. Vol. 24. No. 3. P. 287.
- [163] Stobrawa S., Denkena B., Dittrich M. A., Jenkner I. Simulation-Based Personnel Planning Considering Individual Competences of Employee. *In Congress of the German Academic Association for Production Technology*. Springer. Cham. 2018. P. 613–623.
- [164] Suliswor D. Designing the online collaborative learning using the Wikispaces. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 2012. Vol. 7. No. 1. P. 58–61.
- [165] Tissenbaum, Mike, et al. "Real-time visualization of student activities to support classroom orchestration." Singapore: International Society of the Learning Sciences. 2016.
- [166] Torra V. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*. 2010. Vol. 25. No. 6. P. 529–539.

- [167] Ukrainian Government Partners with The Bitfury Group to Create First FullScale Blockchain eGovernance Program for Ukraine: Medium Online Publishing Platform: Official site. URL: <https://medium.com/@BitFuryGroup/ukrainian-government-partners-with-the-bitfurygroup-to-create-first-full-scale-blockchain-bce7b626ee34> (дата зверення 27.04.2019).
- [168] Vainio, Leena, Elina Oksanen-Ylikoski, and Teemu Ylikoski. "Finland: VET and Omnia." 2017.
- [169] Vo M. H. L., Hoang Q. Transformation of UML class diagram into OWL Ontology. *Journal of Information and Telecommunication*. 2020. Vol. 4. No. 1. P. 1–16. doi:10.1080/24751839.2019.1686681
- [170] Wang J., Li K., Zhang H. Interval-valued intuitionistic fuzzy multi-criteria decision-making approach based on prospect score function. *Knowledge-Based Systems*. 2012. Vol. 27. P. 119–125. doi:10.1016/j.knosys.2011.08.005
- [171] Wang Y. J., Lee H. S. Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making . *Computers & Mathematics with Applications*. 2007. Vol. 53. No. 11. P. 1762–1772.
- [172] Wang, H., Wang, J., Ding, L., & Wei, W. Knowledge transmission model with consideration of self-learning mechanism in complex networks. *Applied Mathematics and Computation*. Vol. 304. 2017. P. 83–92.
- [173] Wang, J. P., Guo, Q., Yang, G. Y., & Liu, J. G. Improved knowledge diffusion model based on the collaboration hypernetwork. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Vol. 428. 2015. P. 250–256.
- [174] Wikarek J., Sitek P. Configuration of employee competences in IT projects. *In Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*. Springer. Cham. 2020. P. 3–12.
- [175] Xu Z., Ni Y., He W., Lin L., Yan Q. Automatic extraction of OWL ontologies from UML class diagrams: a semantics-preserving approach. *World Wide Web*. 2011. Vol. 15. No. 5. P.517–545. doi:10.1007/s11280-011-0147-z

- [176] Xuan Z., Haoxiang X., Yanyan D. "Adjustment of knowledge-connection structure affects the performance of knowledge transfer." *Expert Systems with Applications*. Vol. 38. No. 12. 2011. P.14935–14944.
- [177] Yager R. R. Pythagorean fuzzy subsets. *In: 2013 joint IFSA world congress and NAFIPS annual meeting (IFSA/NAFIPS)*. IEEE. 2013. P. 57–61.
- [178] Yeni F. B., & Özçelik G. Interval-valued Atanassov intuitionistic Fuzzy CODAS method for multi criteria group decision making problems. *Group Decision and Negotiation*. Vol. 28. No.2. 2019. P. 433–452.
- [179] Zadeh L. A. Fuzzy logic= computing with words. *In: Computing with Words in Information/Intelligent Systems 1*. Physica. Heidelberg. 1999. P. 3–23.
- [180] Zheng G., Zhu N., Tian Z., Chen Y., Sun B. . Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. *Safety science*. 2012. Vol. 50. No. 2. P. 228–239.
- [181] Zheng W., Pan H., & Sun C. A friendship-based altruistic incentive knowledge diffusion model in social networks. *Information Sciences*. Vol. 491. 2019. P.138–150.

ДОДАТОК А
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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.

ДОДАТОК Б

Суть дуальної форми здобуття освіти

Дуальна форма освіти є новою для української системи освіти. Причини виникнення діалогу щодо впровадження даної форми навчання коріняться в економічній ситуації й стану ринку праці в Україні. Якість підготовки фахівців у закладах освіти не задовольняє вимоги ринку праці. Проблеми вищої освіти слід розглядати комплексно, диспропорції між попитом та пропозицією на ринку праці породжені низкою проблем у освітній сфері. Такими вадами ми вважаємо низьку якість підготовки майбутніх фахівців; дисбаланс між пріоритетами вибору професій абітурієнтами та потребою ринку праці; застарілу технічну навчальну базу закладів освіти; відірваність теорії від практики; відсутність належного контролю закладу освіти над проходженням виробничої практики студентами.

Низьку якість підготовки майбутніх фахівців підтверджують дані дослідження Світового банку [72], які свідчать, що близько половини дорослого населення України мають вищу освіту, проте 4 із 10 фірм зазначили (у дослідженні 2014 року) невідповідність умінь їх працівників тим, які потрібні для досягнення бізнес-цілей компанії. Дана ситуація притаманна приблизно половині компаній, зокрема у секторі інформаційних технологій. Такий стан ринку праці свідчить про відірваність теорії від практики навчання. У своїй статті [46] автор зазначає, що сучасному ринку праці України притаманний професійно-кваліфікаційний дисбаланс та неоднорідність кон'юнктури. У сільськогосподарських районах пропозиція робочої сили перевищує попит. Інші райони характеризуються трудодефіцитом, у яких провідними вважаються такі галузі: будівництво, хімічна, добувна, оборонна промисловості. Дані галузі мають проблеми із задоволенням потреби в працівниках [46]. Підтвердженням цих фактів є аналітичні дані Державної служби зайнятості [8] станом на 1 вересня 2018 року, у яких зазначається, що найбільше претендентів на одне робоче місце у державному управлінні, обов'язковому соціальному страхуванні, також у фінансовій та страховій діяльності – по 7 осіб на одну вакансію. Безробітних, не-

працевлаштованих після закінчення навчальних закладів, станом на перше півріччя 2018 року було 129 600 осіб. Згідно з даними Державної служби зайнятості [8] станом на 1 вересня 2018 року 49% зареєстрованих безробітних мали вищу освіту, 34% – професійно-технічну, 17% – загальну середню освіту. Тобто кожен другий безробітний має вищу освіту та кожен третій – професійно-технічну. При цьому загальний рівень безробіття в Україні становить 8,9% у I півріччі 2018 року. Для порівняння, у таких країнах Європи, де впроваджено дуальну освіту (станом на червень 2018 року) – Австрія – 4,7%, Німеччина – 3,4% [85]. Дані факти зумовлені, крім економічних чинників, проблемами у вищій освіті.

Складна економічна ситуація в країні спонукає студентів до пошуку роботи уже під час навчання, через що відвідуваність навчальних закладів перебуває на низькому рівні. І, як наслідок, здобута освіта характеризується кваліфікацією на папері, але не на практиці. Такий стан ринкової кон'юнктури можна охарактеризувати низькою інтеграцією між зацікавленими сторонами: компаніями, студентами, закладами вищої освіти. Варто враховувати також, що необхідною умовою працевлаштування випускників закладів освіти є наявність досвіду роботи. Беручи до уваги даний факт, виникає питання ефективності практики у навчальному закладі. Сучасні реалії проходження практики у навчальних закладах свідчать про необхідність удосконалення даного елемента навчання.

Не менш важливим питанням є освітня міграція студентів у закордонні навчальні заклади. Аналіз причин даної міграції дозволять краще зрозуміти стан освітньої системи України. У своєму дослідженні автори [42] розкривають причини міграції українських студентів закордон. Згідно з дослідженням, проведеним авторами, в іноземних університетах станом на 2014/2015 рік навчалось 59 648 осіб. Серед студентів найбільш популярні країни для навчання – Польща, Німеччина, Росія, Канада, Італія, Чехія, США, Іспанія, Австрія, Франція та Угорщина. Динаміка зростання з 2009 до 2015 року становить 129 %. Протягом 2014/2015 років частка українців серед іноземних студентів у Польщі становила

53%. Науковці [47] у своєму дослідженні наводять дані проведеного опитування серед 200 респондентів випускників старших класів та студентів 13–25 років з метою встановлення причин і тенденцій виїзду молоді закордон на навчання. За результатами опитування 35,5% абітурієнтів планують навчання закордоном, 39,5% – мають бажання навчатися закордоном, але не мають можливості, та 25% опитаних взагалі не мають бажання навчатися закордоном. Найпоширенішими причинами від'їзду закордон на навчання є: престижний диплом, шанси отримати високооплачувану роботу після навчання, якість освіти. Варто відзначити, що значна кількість опитаних респондентів мають бажання навчатися закордоном, проте не мають можливості.

Автори статті також відзначають, що зарубіжні вищі навчальні заклади дають більше практики у порівнянні з українськими закладами, де теоретична підготовка є на належному рівні, проте практична підготовка недостатня. Багато з технічних університетів України мають діючі лабораторії із застарілим обладнанням, застарілі підручники. Це не дає змоги українським студентам отримувати актуальні знання. Крім того, європейські ВНЗ надають можливість розширення контактів по всьому світу та влаштовуючи на роботу [47].

Таким чином, наведені дані підтверджують необхідність удосконалення української системи освіти через упровадження дуальної форми навчання. Для припинення відтоку інтелектуальних кадрів з України необхідне впровадження низки реформ у освітній сфері. Наслідком теоретичної орієнтації освітніх закладів є відірваність від вимог ринку. Така тенденція є небезпечною, оскільки може призвести до зростання безробіття та виїзду молодих фахівців закордон. Результатом таких явищ є стагнація та падіння зростання національної економіки.

Ще однією причиною доцільності впровадження дуальної освіти є тенденції розвитку світової економіки. Світова економіка наближається до четвертої промислової революції, відомої як індустрія 4.0. Науковець [41] у своїй статті характеризує поняття індустрії 4.0 як інноваційне промислове виробництво майбутнього, яке являє собою функціонування кіберфізичних систем і використанням Промислового Інтернету Речей. Індустрія 4.0 є новим науково-

технічним середовищем, в якому здійснюється перехід до мехатронних систем, що синергійно поєднують у собі механічні та електронні компоненти, компоненти інформаційних технологій (ІТ), компоненти інтелектуального керування.

На думку науковця, Україна має достатній потенціал, щоб зайняти місце серед країн-лідерів у новій концепції розвитку економіки. Для цього необхідна постійна взаємодія органів державної влади, промислових підприємств, підприємств-лідерів у своїй галузі, ІТ-компаній, університетів, технопарків, науково-дослідних центрів (рис.1).

На думку автора [41], у четвертій індустріальній революції одне із основних місць займають ІТ-фахівці, інженери різних галузей (машинобудування, електротехніка тощо), фахівці з логістики, економісти-аналітики.

Таким чином, ключову роль у індустрії 4.0 відіграють навчальні заклади, забезпечуючи економіку високопрофесійними фахівцями. Для належної підготовки їх необхідно вносити зміни в систему вищої освіти, адаптуючи її до вимог і потреб сучасних реалій світової та, насамперед, вітчизняної економіки.

У своєму дослідженні автор [51] обґрунтовує завдання виконавчій владі, що відповідальна за цифровізацію національної економіки, для розроблення стратегії цифровізації національної промисловості. Одним із завдань є розроблення комплексу заходів щодо модернізації національної системи освіти для приведення у відповідність якості та кількості освітніх послуг із наявними та майбутніми потребами цифрової економіки. До одних із найважливіших аспектів концепції впровадження індустрія 4.0 у межах організації науковець відзначає ряд аспектів, одними з яких є компетенції та робоча сила. Встановлення пріоритетом підготовку робітників для опанування промисловості 4.0 шляхом створення культури навчання і спільної роботи, а також створення можливостей навчання як в межах організації, так і за її межами.

Таким чином необхідність реформ у системі освіти спричинена як поточними потребами економіки, так і еволюцією світової економіки. Така необхідність викликана важливим значенням, яке місце посідає освіта у розвитку країни та зростанні національної економіки.

Автор [41] представив концептуальну схему (рис.1) розвитку індустрії 4.0.

Загальновідомо, що інвестиції є обов'язковою умовою розвитку економіки. Розвиток освіти можна розглядати як інвестицію у людський капітал, який є основною цінністю у будь-якій організації.

Дуальна освіта є сполучною ланкою між промисловістю і бізнесом ІТ та освітою і наукою (рис.1). Оскільки її функціонування розвивається одночасно в двох середовищах, переваги від такої взаємодії досягають ефекту в промисловості і навчальних закладах. Для більш розширеного розуміння поняття дуальної освіти проаналізуємо її тлумачення у розрізі думок науковців.

У своєму дослідженні науковці [2] так визначають дуальну форму професійної освіти: це – освітній процес, що поєднує практичне навчання з частковою зайнятістю на виробництві та навчання в традиційному освітньому закладі. Дуальність означає “двоєдність, подвійність”, “єдине організаційне ціле”. Також науковці зазначають, що в дуальне навчання входить педагогічна технологія, яку, в свою чергу, автори визначають як цілеспрямовану систему [2].



Рисунок Б.1 – Концептуальна схема взаємодії у тріаді “Держава”+“Освіта”+“Наука”+“Бізнес” для появи та розвитку Четвертої індустріальної революції в Україні*Джерело: [41].

Автор [9] під дуальною системою професійної підготовки розуміє інноваційний тип організації професійної освіти, котрий являє собою злагоджений взаємозв'язок освітньої і виробничої сфер у підготовці конкурентноздатних кваліфікованих робітників, побудований на єдності трьох методологічних основ: аксіологічної (паритетність гуманістичних і технологічних цінностей); онтологічної (компетентнісний підхід), технологічної (оволодіння професійною діяльністю) [9].

Дуальна освіта передбачає не просто набуття практичних навиків на підприємстві, а фактично виконання функцій студентом повноцінного працівника із виконанням покладених обов'язків та отримання зарплати. Дуальна освіта являє собою синергію компаній та навчальних закладів у підготовці висококваліфікованих фахівців. Інноваційний характер цієї форми освіти полягає в активному залученні роботодавців у процес навчання своїх майбутніх працівників, з одного боку, з іншого – навчальні заклади не втрачають зв'язок із економікою постійно удосконалюючи та оновлюючи методи навчання. Запорукою успіху ефективних компаній є вирощування власних кадрів.

Науковці [10] розглядають дуальну форму навчання як інтерактивну форму організації навчального процесу. У своїй статті дослідники наводять таке визначення дуальної форми навчання: це – форма організації навчального процесу, яка передбачає системне й органічне поєднання на умовах партнерства двох основних його складових: теоретичної (навчальної) складової, яку забезпечує навчальний заклад, та прикладної (практичної), яка забезпечується підприємством (потенційним роботодавцем) [10].

Розгляд дуальної форми навчання через призму інтерактивної форми організації навчального процесу зосереджує увагу на недосконалості зв'язків між учасниками навчального процесу для наявних форм освіти. Впровадження дуальної форми навчання, з огляду на даний аспект, має відбуватися з розробленням інформаційної технології інтерактивної взаємодії. Поєднання дуальної форми навчання та інформаційної технології її реалізації допоможе забезпечити ефективність організації освітніх інформаційних процесів.

Така необхідність зумовлена існуючим досвідом проходження практики студентами на підприємстві, яка часто є неефективною через різницю між практичним досвідом та теоретичним навчанням. Якщо розглядати дуальне навчання як системне поєднання двох середовищ навчання, то ефективність такого поєднання буде великою мірою залежати від ступеня інтеграції, глибина якого залежить як від педагогічної технології, так і інформаційних засобів реалізації.

Автор [49] у своєму дослідженні визначає суть дуальної системи освіти у такій організації навчального процесу коли теоретична підготовка проводиться на профільній кафедрі, а практична реалізується у межах робочого процесу підприємства.

У Законі України “Про освіту” [35] дається таке визначення дуальній формі здобуття освіти: це – спосіб здобуття освіти, що передбачає поєднання навчання осіб у закладах освіти (в інших суб’єктів освітньої діяльності) з навчанням на робочих місцях на підприємствах, в установах та організаціях для набуття певної кваліфікації, як правило, на основі договору.

Дуальна форма здобуття освіти ґрунтується на формі соціального партнерства між бізнесом та навчальними закладами. Основою такого партнерства, як сказано у визначенні, є договір, який може укладатися як у двосторонній формі між навчальним закладом та студентом, так і тристоронній – між компанією, навчальним закладом та студентом. Укладання договору дає можливість компаніям брати участь у відборі студентів на навчання та формуванні навчальної програми. Таким чином, компанія, яка бере участь у підготовці студентів, є повноцінним учасником освітнього процесу, а не лише споживачем освітніх послуг. Даний факт підкреслює особливість дуального навчання як інноваційного, оскільки за такої форми учасники процесу, компанії та навчальні заклади, працюють у вигляді симбіозу, беручи краще одне від одного та взаємно змінюючи один одного.

Термін “дуальна система” вперше був використаний у 1964 році [92] в доповіді, опублікованій німецьким комітетом з питань освіти. Термін «дуальна

система» має підкреслювати, що це – система спільного навчання в компаніях та професійно-технічних училищах, відповідно до якого успіх системи дуального навчання залежить від взаємодії відповідальних сторін. Дуальність та взаємодія навчальних локацій характеризують оригінальну концепцію [92].

Компанія є домінуючим партнером у системі дуального навчання. Це підтверджується таким фактом [95]: компанія, а не професійне училище вирішує, хто отримає навчальне місце та підпише контракт (отримає місце у професійному училищі), а хто ні; студенти проводять дві третини часу навчання у компанії й лише одну третю – у професійному училищі. Навчання вважається успішним лише в тому випадку, якщо фінальний іспит, який був організований палатами (які представляють компанії), буде складений студентами.

У 1964 році німецький комітет з питань освіти рекомендував реформу як модель для майбутнього [95]: у дуальному навчанні компанії та професійні училища несуть спільну відповідальність. Вклади сторін різні, проте рівні права та зобов'язання. З метою посилення та створення видимого спільного підґрунтя відповідальності обидва партнери організовують спільний екзамен за підсумком професійної підготовки й навчання та видають остаточний сертифікат разом.

У моделі також зафіксовано, що в дуальній системі професійні училища та компанії є рівноправними партнерами. Обидва слугують спільній меті, хоча із різним розпорядженнями, але із особистою відповідальністю. Ключовими словами в описі дуальної системи є спільна відповідальність, збалансовані зобов'язання та права, рівне партнерство.

Закон, який регулює питання професійної освіти у Німеччині, був прийнятий у 1969 році. Ціллю прийняття цього акту було забезпечення національного регулювання та публічної звітності внутрішньо-фірмового навчання. Таким чином, у Німеччині федеральний закон регулював професійне навчання, а традиційне навчання на базі освітніх закладів регулювалося національним законодавством [95].

Аналізуючи думки науковців, можна зробити висновок, що дуальну форму навчання найчастіше пов'язують із такими поняттями, як “підприємства”

“процес”, “спосіб”, “технологія”, “соціальне партнерство”, “інтерактивна організація”. Усі ці поняття слугують досягненню однієї мети, а саме набуття певної компетенції та кваліфікації випускника.

У Законі України “Про освіту” [35] зазначено, що метою вищої освіти є здобуття особою високого рівня наукових та/або творчих мистецьких, професійних і загальних компетентностей, необхідних для діяльності за певною спеціальністю чи в певній галузі знань. Таким чином, мета здобуття вищої освіти зумовлює методи та засоби її досягнення. З огляду на даний факт, ми вважаємо за потрібне деталізувати визначення дуальної форми освіти із урахуванням повного означення, яке б охоплювало зміст, структуру та мету, а також інформаційну технологію реалізації даної форми навчання.

Інформаційна технологія реалізації дуальної форми навчання є необхідним елементом її ефективного функціонування, оскільки навчання відбувається в різних навчальних локаціях та потребує налагодження зворотного зв’язку. Таким чином, інформаційна технологія є основою, яка забезпечує інтеграцію середовищ різних локацій у єдине ціле їх інформаційних процесів, забезпечуючи інтерактивну взаємодію суб’єктів навчання. Беручи до уваги особливості реалізації та функціонування дуальної форми освіти, ми пропонуємо уточнене визначення цієї форми навчання.

Дуальна форма здобуття освіти – це система навчання, реалізація якої відбувається через діяльність на робочому місці, складовими підсистемами якої є навчання в компанії (робочому середовищі) та навчальному закладі, де принциповим є зв’язок між локаціями навчання, що забезпечується інформаційною технологією. Мета дуальної форми навчання є здобуття студентами необхідних компетенцій та кваліфікації із забезпеченням високої імовірності подальшого працевлаштування.

ДОДАТОК В

Дуальна освіта закордоном

Як уже зазначено, дуальна форма освіти зародилася в Німеччині. У ряді країн Європи існує багаторічна традиція дуальної форми навчання, проте в той же час з'являються нові країни, які прагнуть впровадити дану форму освіти. У цьому розділі розглянемо функціонування дуальної освіти як у державах із значним досвідом її впровадження, так і країнах із відносно недавніми успіхами в цій сфері.

Розглянемо приклад реалізації дуальної освіти в Угорщині [145]. У 2010 році рішення уряду Угорщини започаткувало запровадження дуальної освіти в країні. У листопаді 2010 року уряд підписав із Торгово-промисловою палатою рамковий договір про професійне навчання.

В системі дуальної освіти Угорщини важливу роль відіграють субсидії, які надаються компаніям, що проводять підготовку студентів за дуальним навчанням.

Підприємства сплачують внески у Національний фонд зайнятості. Метою внесків у професійну підготовку є стимулювання участі підприємств у підготовці фахівців за дуальною формою навчання. Внесок може бути переглянутий у разі проведення підприємством практичних занять. У цьому випадку розмір внеску може бути зменшений заздалегідь встановленою нормативною субсидією. Також компанії, які проводять практичне навчання, можуть отримувати додаткову субсидію, крім нормативної [145].

Система дуальної освіти в Угорщині будувалася за німецьким прикладом, проте існують певні особливості угорській моделі. У Німеччині [111] практична частина періоду навчання становить 90%, а загальна теоретична частина становить лише 10%. В Угорщині цей показник становить 67% і 33% відповідно. У Німеччині 70% професійної практичної підготовки здійснюється в реальному робочому середовищі, у компаніях, і лише 30% – у майстернях навчального закладу. В Угорщині 46% практичних занять проходять на підприємствах, а 54% – у шкільних майстернях. В Угорщині частка учнів, які навчаються за дуальним

навчанням, становить 33%. В Австрії цей показник становить 39%, в Німеччині – 51%, і у Швейцарії 63% серед молоді [111].

У Німеччині [145] місцеві провінції, базуючись на центральному навчальному плані, випускають незалежні, але обов'язкові навчальні плани. В Угорщині навчальні плани публікуються як обов'язкове законодавство і містять варіант місцевої спеціалізації – близько 10 % на шкільному рівні.

Основною відмінністю між двома системами є те, що в німецькій домінують становище займає роботодавець, тоді коли в угорській переважає правовий статус студента. Особливістю угорського дуального навчання є роль Угорської Торгово-промислової палати, яка виступає гарантом між зацікавленими сторонами.

Оплата навчання студента в Німеччині залежить від ринкової кон'юнктури та може відрізнятися – залежно від галузі, тривалість практичного навчання становить 8 годин на день. В Угорщині оплата також диференціюється, проте держава забезпечує мінімальну суму винагороди. При підвищенні суми до уваги беруться результати навчання, практична робота та старання студента [145].

У системі дуального навчання [82] студент може проходити практичну підготовку наступним чином: через договір учнівства, договір про співпрацю або проходити підготовку в майстерні навчального закладу.

В Угорській системі дуальної освіти існує дві форми внутрішньо-фірмового навчання: 1. На підставі контракту учнівства з учнем (під наглядом представника регіональної економічної палати, компанія здійснює навчання та нараховує оплату праці, під час канікул також. Учні мають право на соціальне страхування). 2. На основі угоди між школою та компанією (учні не перебувають у договірних відносинах з компанією й отримують оплату лише за три-п'ять тижнів практики під час літнього відпочинку) [82].

Особливістю угорської системи дуального навчання [145] є роль, яку відіграє Торгово-промислова палата у гарантуванні студентам договору учнівства. Суть гарантій палати полягає у забезпеченні договором учнівства усіх бажаючих вчитися за дуальною формою навчання. Якщо цього не вдається зробити, палата видає сертифікат для професійного училища.

Для укладання контракту учнівства компанія має бути у реєстрі економічної палати як така, що має право та відповідає вимогам проведення практичної підготовки.

Для проведення практичної підготовки у зовнішній організації кожен майстер має отримати сертифікат майстра-ремісника. Винятком є наявність вищої освіти у секторі проведення практичної підготовки та 2 роки досвіду або 5 років у випадку невідповідності освіти даному сектору, або коли вік майстра становить понад 60 років. Торгово-промислова палата також уповноважена призначати голову та членів екзаменаційної комісії комплексного екзамену [145].

Дуальне навчання в Угорщині існує також на рівні вищої освіти [82]. Були встановлені, зокрема, такі критерії: дуальні програми складаються з академічних досліджень, що проводяться в університеті, і 20–24 тижнів навчання на робочому місці в рік у компанії; компанія / організація має кваліфікацію Ради дуального навчання для проведення навчання; підписання угоди про співпрацю між вищим навчальним закладом та партнером (партнерами) компанії, в якій визначені ролі та обов'язки кожної зі сторін; навчальна програма, яка надається вищим навчальним закладом, аналогічна навчальній програмі для відповідного курсу, який не передбачає навчання на робочому місці; компанія виплачує студенту заробітну плату. Сума визначається в договорі на навчання й відповідає мінімум 15% в тиждень мінімальної місячної заробітної плати [82].

Час, проведений в компанії, повинен складатися із 4-х частин [154]: (1) розвиток навичок роботи і ділової етики, (2) розроблення самостійного проекту роботи, (3) робота в команді під наглядом, (4) розвиток спеціальних знань компанії. Всі навчальні заходи повинні базуватися на знаннях, отриманих студентами у вищому навчальному закладі. Ці плани можуть відрізнятися від компанії до компанії, що дозволяє їм запропонувати індивідуальні рішення у відповідності з їхніми потребами та характеристиками.

Структура одного академічного періоду містить 26 тижнів академічної підготовки (тобто відвідування лекцій, занять та лабораторних занять, написання доповідей, складання середньотермінових та випускних іспитів). Крім того,

термін для студентів містить 24 додаткові тижні практичного досвіду в різних компаніях бізнесу та промисловості. Отже, осінньо-зимовий семестр включає 13 тижнів регулярних академічних досліджень і 8 тижнів практики у компанії, починаючи з вересня і закінчуючи серединою лютого. Весняно-літній семестр починається відразу з 13 тижнів академічної підготовки, після чого відбувається 16 тижнів практики у компанії до кінця серпня. Студенти можуть мати оплачувані відпустки під час практики у компанії [154].

Особливістю даної моделі є те, що студент складає звичні іспити на вступ до ВУЗу та проходить оремо співбесіду в компанії. Таким чином, програми навчання у ВУЗі є ідентичними програмам інших форм навчання. Підготовка у компанії має відповідати програмі навчання у ВУЗі. Таким чином, дану модель можна охарактеризувати з точки зору домінантної позиції освітніх закладів.

Ще однією країною, в якій успішно функціонує дуальна форма навчання [57], є Австрія. Правова відповідальність за дуальне навчання в Австрії організована на кількох рівнях. Зокрема, на провінційному рівні за дуальне навчання відповідають офіси учнівства Міністерства економіки. До компетенції офісів належить перевірка вимог прийнятності компаній для проведення дуального навчання, консультування учнів та компаній з питань учнівства; перевірка контрактів учнівства та їх реєстрація. Керівники офісів учнівства призначають голів екзаменаційних комісій.

На місцевому рівні за дуальне навчання відповідають підприємства та школи. Із компаніями на місцевому рівні працюють регіональні консультативні комісії. До їх завдань належить консультування інструкторів компаній щодо складання навчальних програм для учнів на підприємстві та стимулювання співпраці між тренувальними компаніями та навчальними закладами [57].

Навчанню в Австрії [128] за програмою учнівства притаманні такі характеристики: навчання у компанії (80% навчального часу) та у професійних школах (20% навчального часу); учень має навчальні відносини (статус спеціального співробітника) з компанією й одночасно є студентом у професійно-технічному училищі. Він отримує винагороду від компанії; після закінчення

трирічного навчання випускний іспит проводиться перед професійними фахівцями. Екзамен зосереджений на компетенціях, необхідних для відповідної професії.

Навчання в професійній школі включає шістдесят п'ять відсотків часу присвячених професійно-орієнтованим предметам, тоді як загальні предмети становлять 35% часу навчання. Відвідування професійно-технічного училища є обов'язковим.

В той час, як професійно-технічні школи фінансуються державою, компанії несуть витрати за навчання в компанії. Тим не менше, вони отримують фінансову підтримку з боку держави шляхом скорочення податків і ряду субсидій [128].

У своєму дослідженні науковець [79] розкриває особливості німецької системи дуальної освіти. Регіональні палати являють собою найважливіший елемент серед тих функцій, які допомагають гарантувати, що професійне навчання є “орієнтованим на професію”, а не “корпоративним”. Навчальні контракти мають бути зареєстрованими у відповідній палаті. Палати також відповідальні за екзаменацію інструкторів дуального навчання з боку компаній. Закон VTA (Vocational Training Act) визначає контент “навчальних розпоряджень”. Вони мають містити назву кваліфікаційної професії, період навчання, який зазвичай не може бути більше 3 та менше 2 років, уміння мають надаватися компанією через навчальні курси, специфікація навчальної програми має надавати учням актуальні навички та знання й відповідати екзаменаційним стандартам [79].

Малі та середні підприємства часто не мають змоги забезпечити весь навчальний зміст, проблема може бути у відсутності відповідного навчального персоналу або особливій спеціалізації. У німецькій системі дуального навчання існує кілька шляхів розв'язання даної проблеми [106]: 1. Міжвідомчі професійні навчальні центри, призначені для доповнення навчання у компанії. 2. Провідне підприємство з партнерами. Одне підприємство бере на себе провідну роль і несе спільну відповідальність за навчання, окремі періоди навчання можуть проводитися на різних підприємствах-партнерах. 3. Навчання на замовлення.

Деяка підготовка може проходити за межами постійного підприємства, на основі замовлення та за рахунок відшкодування коштів. 4. Навчальний консорціум. Кілька малих і середніх підприємств підписують договір про співпрацю та працюють на рівних умовах. 5. Асоціація навчання. Компанії створюють організацію, яка бере на себе усі адміністративні завдання, такі, як укладання контрактів та ін., в той час як компанії проводять навчання. Статут регулює права та обов'язки членів [106].

Здобуття освіти за дуальною формою у Німеччині доступне не тільки у професійних школах, але й у вищій освіті. Автор [102] наводить приклади дуальної форми навчання у німецькій вищій освіті. Програми дуального навчання надаються у професійних академіях, кооперативних університетах, в університеті прикладних наук та інших університетах. Існують такі програми дуального навчання: 1. Дуальні навчальні програми з отриманням початкового сертифіката професійної освіти: ці програми зазвичай тривають три-чотири роки, і, як правило, призначені для осіб, які не мають професійної підготовки або професійного досвіду, але мають вступний сертифікат університету чи університету прикладних наук. Теоретичне й практичне навчання інтегрується різними способами: навчання у компанії може тривати кілька днів на тиждень або блоками із 16 - та 18 - тижневими інтервалами. 2. Дуальні навчальні програми, що інтегрують практику роботи. Вони доступні охочим, які мають університетський або університету прикладних наук вступний сертифікат. У даній програмі студент не обов'язково отримує сертифікат професійної підготовки. Студенту необхідний контракт з фірмою, навчання зазвичай триває три роки. Фази роботи різної тривалості інтегровані та виходять далеко за межі періодично обов'язкового стажування, необхідного для “традиційних” навчальних програм. 3. Програми подвійного навчання. Такі програми найбільше підходять для осіб, що пройшли початкове професійне навчання та мають вступний сертифікат. Трудовий договір з частковою зайнятістю є попередньою умовою для цього виду подвійного навчання. Програми тривають від трьох до чотирьох років і навчальна програма повинна посилатися на відповідний досвід роботи у фірмі. 4. Програми

подвійного навчання, які супроводжують професію. Ці програми призначені для студентів, які мають або не мають вступного сертифіката. Вони нагадують програми дистанційного навчання, оскільки студенти зазвичай працюють повний робочий день і вчаться у вільний час самостійно або можуть відвідувати семінари [102].

Ще однією країною, у якій добре розвинена система дуальної освіти, є Швейцарія. Програми професійної освіти та навчання (Vocational Education and Training, VET) у цій країні можуть тривати 2, 3 або 4 роки залежно від вибраної кваліфікації [161]. Після успішного закінчення програми студенти отримують доступ до вищого рівня *B* професійної освіти та навчання (professional education and training, PET), або, у поєднанні із додатковою кваліфікацією, навіть доступ до вищої освіти рівня *A*. Програма Федерального професійного бакалавра є розширеною загальною освітньою програмою, яка створена для доповнення частини загальної освіти студентів із Федеральним VET дипломом. У даній програмі можна навчатися або протягом терміну попередньої програми, або в очній програмі після отримання Федерального VET диплома. Також можна скласти іспити, готуючись самостійно. Після успішного складання іспиту студенти можуть зараховуватися без екзаменів до Швейцарського університету прикладних наук [161].

На вищому рівні програми *B* професійної освіти PET дають можливість тим, хто здобув VET ступінь, поглибити свої уміння з відповідної спеціальності.

Професійна освіта VET та PET, а разом VPET система визначена та організована законом Vocational and Professional Education and Training Act (VPETA). Значна частина завдань, визначених у законі VPETA, такі, як стратегічний нагляд, забезпечення загальнонаціонального співставлення програм VET та видача постанов про виконання VPETA покладені на Державний секретаріат з освіти, досліджень та інновацій (State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI, part of the Department of Economic Affairs, Education and Research)). Серед іншого, SERI встановлює мінімальний освітній контент, визначає частку навчання у компанії та професійній школі, регулює кваліфікації

та процедури присвоєння. Щодо PETA програм відповідно до VPETA вимоги до прийому, змісту курсу, кваліфікаційних процедур, кваліфікацій та звань повинні бути створені професійними організаціями. Загалом Торгові асоціації відіграють значну роль у формуванні навчального плану, його наповнення.

Кантони у Швейцарії впроваджують законодавство, забезпечують школи VET, керують школами PETA, контролюють контракти на навчання й створюють Центри профорієнтації та консультування. Вони також видають освітні ліцензії для компаній за умови дотримання технічних умов і вимог до персоналу, перевіряють компанії. В свою чергу, професійні асоціації визначають, який контент повинен бути в навчальному плані, здійснюють перегляд нормативних документів, що регулюють конкретні професії [123].

Підсумовуючи функціонування систем дуальної освіти у різних країнах, ми відзначаємо, що вона має різні ступені інтеграції з вищою академічною освітою. Прикладом є Німеччина та Швейцарія. У першій країні є заклади вищої освіти із дуальною формою навчання, у другій країні вища професійна освіта відноситься до окремої категорії вищої освіти. Також існують соціальні ліфти переходу у вищу освіту із професійної. Тобто присутність дуальної форми навчання у вищій освіті характерна для певних вищих навчальних закладів або окремих приватних програм.

Ще одним фактом є різне співвідношення між впливом навчальних закладів та компаній у системі дуальної освіти, домінуючої ролі суб'єктів. Тут ми акцентуємо увагу на гарантіях палати в угорській системі дуальної освіти, а також на ролі держави у відновленні балансу на ринку учнівства у Швейцарії [88]. Отже, розмежовуємо дві концепції дуальної освіти залежно від домінуючої ролі навчальних закладів із державою та компаній у даній системі. Існування різних концепцій пояснюємо історичними умовами формування дуальної освіти в різних країнах, зокрема ініціативи зародження.

ДОДАТОК Г

Проміжні розрахунки моделі оцінювання навчальних досягнень студента в компанії визначенні методом TOPSIS

Таблиця Г.1 – Відносна важливість критеріїв та підкритеріїв

UnderDefense				
Критерії (компетенції)	Коефіцієнт відносної важливості критеріїв	Підкритерії (предмети)	Коефіцієнти підкритеріїв	Часткові вагові коефіцієнти підкритеріїв
ЗК1: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях	0,09	Комп'ютерні мережі	0,37	0,03
		Основи програмування	0,57	0,05
		ТІМС	0,05	0,004
ЗК4: Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми за професійним спрямуванням.	0,03	Розробка програмного забезпечення	0,68	0,02
		Іноземна мова	0,25	0,009
		Фізика	0,06	0,002
ФК2: Здатність до використання інформаційно-комунікаційних технологій, сучасних методів і моделей інформаційної безпеки та/або кібербезпеки.	0,54	Основи комп'ютерних технологій	0,80	0,44
		Математичний аналіз	0,07	0,04
		Дискретна математика	0,12	0,06
ФК3: Здатність до використання програмних та програмно-апаратних комплексів засобів захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних (автоматизованих) системах.	0,32	Чисельні методи	0,66	0,21
		Основи теорії кіл, сигнали та процеси в електроніці	0,33	0,10
Cyberoo				

ЗК1: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях	0,06	Комп'ютерні мережі	0,58	0,03
		Основи програмування	0,35	0,02
		ТІМС	0,05	0,003
ЗК4: Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми за професійним спрямуванням.	0,05	Розробка програмного забезпечення	0,75	0,03
		Іноземна мова	0,19	0,01
		Фізика	0,04	0,002
ФК2: Здатність до використання інформаційно-комунікаційних технологій, сучасних методів і моделей інформаційної безпеки та/або кібербезпеки.	0,33	Основи комп'ютерних технологій	0,80	0,26
		Математичний аналіз	0,06	0,02
		Дискретна математика	0,13	0,04
ФК3: Здатність до використання програмних та програмно-апаратних комплексів засобів захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних (автоматизованих) системах.	0,54	Чисельні методи	0,14	0,07
		Основи теорії кіл, сигнали та процеси в електроніці	0,85	0,46
Eleks				
ЗК1: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях	0,18	Комп'ютерні мережі	0,18	0,03
		Основи програмування	0,76	0,14
		ТІМС	0,05	0,009
ЗК4: Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми за професійним спрямуванням.	0,58	Розробка програмного забезпечення	0,77	0,45
		Іноземна мова	0,17	0,10
		Фізика	0,04	0,02

ФК2: Здатність до використання інформаційно-комунікаційних технологій, сучасних методів і моделей інформаційної безпеки та/або кібербезпеки.	0,17	Основи комп'ютерних технологій	0,75	0,13
		Математичний аналіз	0,09	0,01
		Дискретна математика	0,15	0,02
ФК3: Здатність до використання програмних та програмно-апаратних комплексів засобів захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних (автоматизованих) системах.	0,05	Чисельні методи	0,8	0,04
		Основи теорії кіл, сигнали та процеси в електроніці	0,2	0,01

Таблиця Г.2 – Нормовані значення

№	UnderDefense c_1	Cyberoo c_2	Eleks c_3
	Студент a_1^1	Студент a_2^2	Студент a_3^3
D_1	(0,8;0,9;1;1)	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,8;0,9;1;1)
D_2	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,77;0,88;0,88;1)
D_3	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,62;0,75;0,87;1)	(0,62;0,75;0,87;1)
D_4	(0,66;0,83;0,83;1)	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,66;0,83;0,83;1)
D_5	(0,66;0,83;0,83;1)	(0,8;0,9;1;1)	(0,66;0,83;0,83;1)
D_6	(0,8;0,9;1;1)	(0,66;0,83;0,83;1)	(0,8;0,9;1;1)
D_7	(0,8;0,9;1;1)	(0,8;0,9;1;1)	(0,8;0,9;1;1)
D_8	(0,62;0,75;0,87;1)	(0,66;0,83;0,83;1)	(0,8;0,9;1;1)
D_9	(0,62;0,75;0,87;1)	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,62;0,75;0,87;1)
D_{10}	(0,66;0,83;0,83;1)	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,4;0,6;0,8;1)
D_{11}	(0,77;0,88;0,88;1)	(0,62;0,75;0,87;1)	(0,77;0,88;0,88;1)

Таблиця Г.3 – Ідеальні позитивні та ідеально негативні значення критеріїв

Часткові критерії (дисципліни)	X^*	X^-
D_1	(1;1;1;1)	(0,77; 0,77; 0,77; 0,77)
D_2	(1;1;1;1)	(0,77; 0,77; 0,77; 0,77)
D_3	(1;1;1;1)	(0,62; 0,62; 0,62; 0,62)
D_4	(1;1;1;1)	(0,66; 0,66; 0,66; 0,66)
D_5	(1;1;1;1)	(0,66; 0,66; 0,66; 0,66)
D_6	(1;1;1;1)	(0,66; 0,66; 0,66; 0,66)
D_7	(1;1;1;1)	(0,80; 0,80; 0,80; 0,80)
D_8	(1;1;1;1)	(0,62; 0,62; 0,62; 0,62)
D_9	(1;1;1;1)	(0,62; 0,62; 0,62; 0,62)
D_{10}	(1;1;1;1)	(0,40; 0,40; 0,40; 0,40)
D_{11}	(1;1;1;1)	(0,62; 0,62; 0,62; 0,62)

Таблиця Г.4 – Відстань альтернатив до часткових критеріїв

Часткові критерії	UnderDefense		Cyberoo		Eleks	
	$D_i^*(a_i^1, X^*)$	$D_i^-(a_i^1, X^-)$	$D_i^*(a_i^2, X^*)$	$D_i^-(a_i^2, X^-)$	$D_i^*(a_i^3, X^*)$	$D_i^-(a_i^3, X^-)$
D_1	0,11	0,16	0,14	0,14	0,11	0,17
D_2	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
D_3	0,13	0,27	0,23	0,23	0,23	0,23
D_4	0,20	0,20	0,14	0,24	0,20	0,20
D_5	0,20	0,20	0,11	0,27	0,20	0,20

D_6	0,11	0,27	0,20	0,20	0,11	0,27
D_7	0,11	0,15	0,11	0,15	0,11	0,15
D_8	0,23	0,23	0,20	0,24	0,11	0,31
D_9	0,23	0,23	0,14	0,28	0,23	0,23
D_{10}	0,20	0,44	0,14	0,50	0,37	0,37
D_{11}	0,13	0,27	0,23	0,23	0,14	0,28

Таблиця Г.5 – Скориговані трапецієподібні оцінки із врахуванням суб'єктивності

№	UnderDefense c_1	Cyberoo c_2	Eleks c_3
	Student A_1^1	Student A_1^2	Student A_1^3
D_1	(7,70;8,80;9,80;10,10)	(6,60;7,87;7,87;9,27)	(7,54;8,62;9,62;10,08)
D_2	(6,75;7,85;7,85;9,10)	(6,62;7,81;7,81;9,19)	(7,50;8,10;8,10;8,60)
D_3	(6,60;7,65;7,65;9,05)	(5,50;6,10;7,107;7,6)	(5,57;6,17;7,17;7,60)
D_4	(4,55;5,18;5,18;5,63)	(6,50;7,93;7,93;9,43)	(4,32;5,12;5,12;5,8)
D_5	(4,50;5,26;5,26;5,76)	(7,50;8,75;9,75;10,25)	(4,12;5,07;5,07;5,95)
D_6	(7,42;8,72;9,72;10,3)	(4,09;5,04;5,04;5,95)	(7,58;8,76;9,76;10,18)
D_7	(7,86;8,94;9,94;10,08)	(7,6;8,8;9,8;10,2)	(7,68;8,80;9,80;10,12)
D_8	(5,45;6,25;7,25;7,8)	(4,35;5,17;5,17;5,82)	(7,80;8,87;9,87;10,07)
D_9	(5,63;6,29;7,29;7,66)	(6,70;7,84;7,84;9,14)	(5,45;6,22;7,22;7,77)
D_{10}	(4,52;5,23;5,23;5,71)	(6,50;7,75;7,75; 9,25)	(2,48;3,33;4,33;4,85)
D_{11}	(6,42;7,72;7,72;9,3)	(5,50;6,15;7,15;7,65)	(7,55;8,12;8,12;8,57)

ДОДАТОК Д

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Проведем аналіз об'єктно-орієнтованого моделювання UML та семантичного моделювання онтологій для обґрунтування вибору засобів побудови інформаційних моделей концептуальних компонентів інформаційної технології дуальної форми освіти.

У роботі [141] відмічають, що онтологічні знання інтерпретуються з погляду відкритого світу, що, в свою чергу, передбачає, що модель є представленням часткових знань про предметну область. Якщо твердження про об'єкт не може бути визнаним як істинним або хибним, воно вважається невідомим. У свою чергу, моделі UML інтерпретуються в припущенні замкненого світу. Тобто, якщо твердження не є істинним, воно вважається хибним. UML розглядають як повне представлення всіх знань у предметній області. Крім цього, в онтологіях два класи об'єктів з різнимим іменами можуть описувати один і той же об'єкт, у свою чергу, в UML два різні імена класів обов'язково описують різні об'єкти. Властивості, що описуються в онтологіях, мають глобальний масштаб. В UML зв'язок існує між двома або більше класами. По суті онтологія представляє словник [169] для описування даних із семантикою, зрозумілою комп'ютерам. У дослідженні [169] зазначається, що клас діаграм UML є концептуальною моделлю, яку часто використовують для розроблення логіки моделі інформаційної системи.

У роботі [53] автори описують властивості онтологій, які включають в себе набір понять, таких, як сутності, атрибути, процес та їх взаємозв'язок, і це називається концептуалізацією конкретної області. Крім того, онтології підтримують обмін інформаційними структурами, повторне використання доменних знань та уточнення припущень щодо домену. Онтології класифікуються на різні типи залежно від їх використання:

- Онтологія вищого рівня: підтримання широкого погляду на світ, відповідного для кількох цільових областей.
- Довідкова онтологія: спрямована на структурування похідних від них онтологій.
- Основна онтологія: походить від визначення супердомену.
- Онтологія застосування: доцільно використовувати в механізмах міркувань або пакетах програмного забезпечення [53].

Розглянемо переваги мови моделювання UML. У роботі [152] до переваг мови моделювання UML, зокрема, відносять:

- UML є мовою моделювання, а не методом, методологією чи технікою. Таким чином вона незалежна від мов програмування чи конкретних методів. Специфікація UML визначає кількість діаграм та їх значення. UML окреслює розроблення програмного забезпечення, які діаграми і в якому порядку розробляються, хто відповідає за виконання конкретних задач;

- UML є платформи-незалежна мова моделювання, яку можна використовувати для розроблення програмного забезпечення будь-якою мовою програмування;

- UML є набором стандартизованих об'єктно-орієнтованих моделей, що робить спілкування між зацікавленими сторонами ефективнішим та суттєвішим;

- UML можна використовувати як для великих і складних проєктів, так і для малих;

- UML моделі можна передавати між різними інструментами, таким чином роблячи користувачів незалежними від конкретних інструментів моделювання [152].

Із даних переваг можна зробити висновок, що мова моделювання детально стандартизована та є самостійним і автономним інструментом моделювання, яка широко зрозуміла розробникам та використовується останніми в якості стандарту.

Розглянемо потреби застосування онтологій. Автор [148] зазначає, що потреби у розробленні онтологій є різними:

1. Необхідність спільного розуміння між розробниками програмного забезпечення (тобто коли програмне забезпечення розроблене для конкретної сфери, проте використовується й іншими сферами, які взаємодіють із ним).
2. Необхідність повторного використання знань у домені.
3. Зробити явним те, що вважається неявним у домені (тобто для чіткого розуміння понять, які можуть по-різному сприйматися дійовими особами).
4. Необхідність розрізняти знання в галузі та операційні знання (різниця між онтологією домену та онтологією завдання в тій самій області).
5. Аналіз знань домену (онтологія дає деталі щодо концепції, особливо важливі концепції чітко й точно визначені) [148].

Варто зазначити, що поняття онтологій походить із філософії й використовувалося для описування об'єктів реальності їх властивостей. До певної міри можна стверджувати, що онтології формалізують доменну область на певному рівні абстрагування, ширшому, аніж мова моделювання UML. Твердження про об'єкт не обмежується поняттям істинності або хибності та може включати таку характеристику, як невизначеність. У свою чергу, у мові моделювання UML елементи та зв'язки строго окреслені, дана мова моделювання є специфікованою для програмного розроблення. Мова UML використовується для практичного розроблення програмних застосунків і є уніфікованою мовою в середовищі розробників. Онтології, на нашу думку, слід використовувати у випадку складно-формалізованої предметної області зі змінними та атрибутами, які можуть включати невизначеність чи не повну інформацію про домен та його елементи. Тобто моделювання онтологій більш призначене репрезентації моделі знань, у той час як UML моделювання репрезентує програмну модель. Тобто онтології відображають формальну специфікацію сфери знань, яку використовують для окреслення наборів даних та структури. Крім цього як зазначають автори [175], дві моделі, діаграми класів UML та онтології OWL DL мають спільний набір основних функцій, але, незважаючи на це перекриття, є багато функцій, які можна виразити лише в OWL, а інші – лише у UML. Також як

ззначається у роботі [144] онтології не фіксують семантики додаткових конструкцій, крім таких, як клас, атрибути класу, множиність та тип даних атрибутів класу, асоціації кінця й узагальнення між класами.

Проаналізуємо UML ще з іншими технологіями моделювання. У роботі [121] IDEF технологія визначається як позначення моделювання, що було розроблено для забезпечення інструментарієм моделювання підприємств у цілому, щоб систематично подавати абстрактні уявлення про різні аспекти підприємства, які можуть бути використані зацікавленими сторонами по-різному. Інженерні вимоги підприємства, визначені кількома моделями IDEF, можуть забезпечити семантично багате джерело довідок про проблеми бізнесу, людей та ІТ. У роботі порівнюється мова моделювання UML з технологією IDEF та зазначається, що потенційно моделювання IDEF пропонує стандартний і широко використовуваний підхід, який може бути використаний для розроблення “фронт-ендів” бізнесу для UML, тоді як UML може забезпечити стандартну та широко використовувану програмну інженерію для «моделей IDEF» [121]. Тобто IDEF є технологією, орієнтованою на представлення бізнес-аспектів та різних вимог до забезпечення функціонування підприємства. UML, у свою чергу конкретніша мова моделювання для програмної реалізації.

У дослідженні [125] розглянуто мову моделювання SysML, яка є розширенням UML. Це – мова моделювання, яка підходить для додатків системної інженерії, що пропонує інженерам додаткові діаграми для описування системних моделей. SysML використовує підмножину UML 2.0 і доповнює її додатковими схемами, відкидаючи елементи, орієнтовані на розроблення програмного забезпечення, і додаючи додаткові поняття, характерні для системної інженерії [125].

Тобто SysML є доповненням до мови моделювання UML, а саме для моделювання технічної частини.

У дослідженні [78] автори розглядають метод моделювання Behavior Tree, призначений для використання як клієнтом, так і експертом з моделювання. Він являє собою графічну нотацію і містить ряд конструкцій, що охоплюють

маніпуляції на основі станів, а також більш абстрактні концепції, такі, як синхронізація й передавання повідомлень, а також типовий паралелізм. Структури управління вибором та ітерацією, знайомі по специфікаціях і мовами програмування. Автори порівнюють мову Behavior Tree та UML. Основна відмінність UML від Behavior Tree полягає в тому, що модель UML формується з кількох різних типів діаграм, багато з яких не підтримують простежуваності до вихідних вимог. Для порівняння, середовище розроблення Behavior Engineering включає тільки два типи діаграм, Behavior Trees і Composition Trees, обидва з яких підтримують відстеження. Крім того, семантика UML не була повністю формалізована [78]. На нашу думку, те, що UML формується із кількох типів діаграм, є скоріш перевагою, ніж недоліком, оскільки при формалізації комплексних інформаційних систем необхідний детальний інструментарій для окреслення множини компонентів та їх зв'язків. У свою чергу, спрощене представлення мови моделювання Behavior Trees є необхідною опцією для його ефективної комунікації клієнта із розробником.

Таким чином, аналізуючи різні мови моделювання інформаційних систем, можна зробити висновок, що для поставленого в дисертаційному дослідженні завданні найкраще підходить мова моделювання UML. Причинами вибору UML є такі:

- Добре розроблена стандартизація.
- Використовується для моделювання замкнених систем.
- Основне призначення для моделювання програмного середовища.
- Великий вибір типів діаграм моделювання.
- Трансферабельність різними інструментами.

Особливості мови моделювання UML

Мова моделювання UML є комплексним засобом побудови відображення складових елементів інформаційних технологій, їх програмної реалізації. Проаналізуємо типи діаграм для вибору оптимальних засобів моделювання предметної області.

Мова моделювання UML, зокрема, включає такі типи діаграм [113]:

- діаграма прецедентів – моделює функціональність системи з точки зору сприйняття дійовими особами, які є зовнішніми відносно системи. Діаграма прецедентів відображає взаємодію дійових осіб із системою;

- відображення взаємодії – являє собою послідовність обміну повідомленнями між дійовими особами, що реалізують поведінку системи. Дане відображення надає цілісну картину поведінки в системі, тобто показує потік керування між різними об'єктами. Відображення взаємодії включає такі типи діаграм, як діаграма послідовності та діаграма співпраці. Діаграма послідовності є набором повідомлень, упорядкованих у часовій послідовності. Діаграма послідовності може відображати сценарії, тобто окрему історію транзакцій. Одним із способів використання діаграми послідовності є представлення послідовності поведінки прецедентів. Діаграма співпраці моделює об'єкти та зв'язки, які мають значення тільки в межах взаємодії. Класифікатор ролі позначає об'єкт, асоціативна роль позначає зв'язок у межах співпраці. Діаграма взаємодії відображає ролі у взаємодії як геометричне розташування. Одним із використань діаграми взаємодії є демонстрація впровадження операцій [113];

- діаграми класу є статичними діаграмами які допомагають користувачу в побудові виконуваного коду програмного забезпечення. Діаграми класу використовуються для моделювання таких елементів як клас, інтерфейс, тип даних і компонент, використовуються для проектування представлення застосунку;

- діаграма компонентів – моделює фізичні характеристики системи та включає такі об'єкти, як бібліотеки, файли, документи, виконувані файли, які розташовані у вузлі. Вузол визначається як фізичний об'єкт, який існує протягом часу виконання. Існує три елементи в UML компонентній діаграмі: компоненти, інтерфейси, залежності;

- діаграма розгортання – використовується для відображення взаємодії між програмним та технічним забезпеченням для виконання функціональних можливостей;

- діаграма пакетів – у даному типі елементи моделі організовані у проекти середніх та крупних масштабів. При групуванні класів у пакети складні діаграми можна спростити за допомогою діаграми пакетів. Пакети у діаграмі пакетів представлені папками з файлами [64].

Таким чином, аналізуючи типи представлених UML діаграм для моделювання комплексної інформаційної технології дуальної форми здобуття освіти, використаємо діаграму прецедентів для моделювання взаємодії стейкхолдерів із системою. Діаграма прецедентів використовується для моделювання системи на вищому рівні абстрагування та дозволяє зрозуміти використання системи дійовими особами. Після моделювання засобами діаграми прецедентів система деталізується до нижчих рівнів абстрагування.

В діаграмі прецедентів виділяють такі елементи [87]:

1. Об'єкти:
 - a. Дійові особи.
 - b. Прецеденти.
2. Відношення:
 - a. Між дійовими особами.
 - b. Між прецедентами:
 - i. Узагальнення.
 - ii. Розширення.
 - iii. Включення.
 - c. Між дійовими особами та прецедентами.

Метадані діаграми класу UML складають із таких елементів [86]:

Компонент:

- Клас.
- Атрибут.
- Операція.

Відношення:

- Асоціація.
- Залежність.

– Узагальнення.

Клас має назву та стереотипи. Атрибути володіють стереотипами, іменами типами атрибутів. Операції мають стереотипи, імена, тип операцій та параметри. Асоціативне відношення має початковий клас, ім'я відношення, мультиплікатор, володіння (агрегацію чи композицію) та клас призначення. Залежність має початковий клас, ім'я відношення та клас призначення. Залежність має початковий клас, назву зв'язку, клас призначення [86].

ДОДАТОК Е

ФРАГМЕНТИ ПРОГРАМНОГО КОДУ ВЕБ-ПОРТАЛУ ДУАЛЬНОГО НАВЧАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ PHP, PYTHON МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Лістинг сторінки особистого кабінету інструктора

```
<!DOCTYPE html>
    <html lang="en">
    <head>
        <meta charset="UTF-8">
        <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
        <title>Instructor main page</title>
        <link rel="stylesheet" href="../css/style.css">
    </head>
    <body>
    <p class="msg_notification">Welcome <?php ob_start(); session_start(); ob_clean();
    echo $_SESSION["first_name"]." ".$_SESSION["last_name"] ?> (Інструктор)</p>
        <div class="main_panel">
            <div class="panel_container">
                <a href="../sub_pages/journal_view/select_subject.php"
    class="panel_btn orange">Перегляд журналу</a>
                <a href="../sub_pages/journal_edit/journal_edit.php" class="panel_btn
    green">Редагування журналу</a>
                <a href="../sub_pages/cost_optimization/optimization_main.php"
    class="panel_btn turq">Оптимізація вартості навчання</a>
                <a href="../sub_pages/ANR/anr.php" class="panel_btn yellow">АНР</a>
            </div>
            <div class="panel_container">
                <a href="../sub_pages/accounting_subject/accounting.php"
    class="panel_btn blue">Розрахунок обрання предмету за вибором</a>
                <a href="" class="panel_btn asphalt">Перегляд силабусів дисциплін</a>
                <a href="" class="panel_btn violet">Перегляд програми
    спеціальності</a>
                <a href="../index.php" class="panel_btn red">Вихід</a>
            </div>
        </div>
    </body>
</html>
```

Лістинг задачі оптимізації вартості навчання

```
#!/usr/bin/env python3

# на сайті працює шлях formula.json
# в ide працює шлях sub_pages/cost_optimization/formula.json
```

```

import json
import time

start_time = time.time()

with open('formula.json', 'r', encoding='utf-8') as f: # открыли файл с
данними
    items = json.load(f) # загнули все, что получилось в переменную

a = list(map(int, items['a']))
c = list(map(float, items['c']))
conct1 = int(items['conct1'])
conct2 = int(items['conct2'])
S_V = int(items['S_V'])
meg1 = int(items['meg1'])
meg2 = int(items['meg2'])
n = int(items['n'])
max_S = 0
L_m = []
a_2 = a

start_time = time.time()
# c=[23.84,18.56,14.41, 12.88,11.49, 8.56,7.06,3.62,1.44]
# a=[170,165,145,170,155,160,160,150,140]
# n=9
# #print(c)
# conct1=450
# conct2=1080
# max_S=0
# S_V=59000
# meg1=30
# meg2=270
# L_m=[]
# a_2=a
for i in range(9):
    a_2[i]=a[i] // 2
#print('a=',a)
for x1 in range(270,meg2+1,15):
    # print("--- %s seconds ---" % (time.time() - start_time))
    # print(L_m, max_S)
    for x2 in range(240,meg2+1,15):
        for x3 in range(meg1,meg2+1,15):
            for x4 in range(meg1,meg2+1,15):
                for x5 in range(meg1,meg2+1,15):

```

```

for x6 in range(meg1,meg2+1,15):
    for x7 in range(meg1,meg2+1,15):
        for x8 in range(meg1,meg2+1,15):
            for x9 in range(meg1,meg2+1,15):
                l=[]
                #print(l)
                #print(x1, x2, x3,x4, x5,x6, x7,x8, x9)
                #s1= x1 + x2 + x3 + x4+ x5+ x6+ x7+ x8+
x9

#a=[170,165,145,170,155,160,160,150,140]
#a/2=[85,82,73,85,77,80,80,75,70]
#s2=170* x1 + 165 *x2 +145* x3 +
170*x4+ 155*x5+ 160*x6+ 160*x7+ 150*x8+ 140*x9

s2=a_2[0]* x1 + a_2[1] *x2 +a_2[2]* x3
+ a_2[3]*x4+ a_2[4]*x5+ a_2[5]*x6+ a_2[6]*x7+ a_2[7]*x8+ a_2[8]*x9
if s2<= S_V :
    #if s1>=conct1 and s1<=conct2:
        #s2=85* x1 + 82 *x2 +73* x3 +
85*x4+ 77*x5+ 80*x6+ 80*x7+ 75*x8+ 70*x9
s1= x1 + x2 + x3 + x4+ x5+ x6+ x7+
x8+ x9

if s1>=conct1 and s1<=conct2:
    #if s2<= S_V :
        m=c[0]*x1 + c[1]*x2 + c[2]*x3 +
c[3]*x4+ c[4]*x5 + c[5]*x6 + c[6]*x7 +c[7]*x8+ c[8]*x9
        #print('m=',m)
        print("<span
class='result_text'>Spent money</span> - ",s2)
        print('<br>')
        print("<span
class='result_text'>Total hours</span> - ",s1)
        print('<br>')
        if m >= max_S:
            l.append(x1)
            l.append(x2)
            l.append(x3)
            l.append(x4)
            l.append(x5)
            l.append(x6)
            l.append(x7)
            l.append(x8)
            l.append(x9)
            L_m=l
            max_S=m
            print("<span
class='result_text'>Vector credits</span> - ",L_m,)

```

```

print('<br>')
print("&<span
class='result_text'>Max effect</span> - ",max_S)
print('<br>')

# print("--- %s seconds ---" % (time.time() - start_time))
print(max_S)
print('<br>')
print("&<span class='result_text'>Result</span> = ",L_m)
print('<br>')
#print(max_S)
print("&<span class='result_text'>--- %s seconds ---</span>" % (time.time() -
start_time))
print('<br>')

```

ЛІСТИНГ КОМПОНЕНТА ОБРАННЯ ПРЕДМЕТА ЗА ВИБОРОМ

```

import json

from pprint import pprint
# ВИВОДЖУ
with open('formula_student.json', 'r', encoding='utf-8') as f:
    text = json.load(f)
hp = text['HP'] # Hp по компетенціях
marks = text['MARK'] # Бали виставлені по критеріям до предметів
sub = text['SUBJECTS']
r_all = [] # список щоб рахувати всі R, їх буде 4 при 4 предметах
sum_all = [] # список щоб рахувати всі Sum, їх 4 при 4 предметах
for i in range(len(marks)):
    x = [hp['HP0'], hp['HP1'],hp['HP2']]
    list_i = [(x[elem] * (max(marks[f'MARK{str(i)}'])) - marks[f'MARK{str(i)}'][0])) /
(
        max(marks[f'MARK{str(i)}'])) - min(marks[f'MARK{str(i)}'])) for elem in
range(3)]
    R = max(list_i)
    sum_i = sum(list_i)
    r_all.append(R)
    sum_all.append(sum_i)
result = {}
for i in range(len(marks)):
    formula = (0.5 * ((sum(marks[f'MARK{str(i)}'])) - min(sum_all)) / (max(sum_all) -
min(sum_all)))) + ((
        1 - 0.5) * ((r_all[i] - min(r_all))/(max(r_all) - min(r_all))))
    result[sub['SUB'+str(i)]] = round(formula, 3)
# print(result)

# ЗАПИСУЮ
with open('formula_student_result.json', 'w') as outfile:

```

```
json.dump(result, outfile)
```

Фрагмент лістингу редагування онлайн журналу інструктором

```
elseif ($_SESSION["role"] == 'instructor'){
    echo '<div
class="edit_journal_select_item">
        <p>Додати завдання</p>
        <a href=""
id="add_btn_add_ask">Додати</a>
    </div>
    <form action="" method="post"
id="add_form_add_task" class="hidden">
        <p>Додати завдання</p>
        <input type="text"
placeholder="Перевіряючий" class="enter"
name="reviewer_edit">
        <select name="student_edit"
id="">
            ';
        displayOptionsStudents($conn);
        echo '    </select>
        <input type="text"
placeholder="Назва завдання" class="enter"
name="task_name_edit">
        <input type="text"
placeholder="Завдання" class="enter" name="task_edit">
        <input type="submit"
name="subm_edit" value="Додати">
    </form>
    <div
class="edit_journal_select_item">
        <p>Редагувати завдання</p>
        <a href=""
id="add_btn_edit_task">Редагувати</a>
    </div>
    <form action="" method="post"
```

```

id="add_form_edit_task" class="hidden">
    <p>Виберіть завдання яке
    потрібно редагувати:</p>
    <select
name="select_edit_task" id="">';
        displayOptions();
        echo '    </select>
    <input type="text"
placeholder="Перевіряючий" class="enter"
name="reviewer_edit_task">
        <select
name="student_edit_task" id="">
            ';
            displayOptionsStudents($conn);
            echo '    </select>
            <input type="text"
placeholder="Назва завдання" class="enter"
name="task_name_edit_task">
            <input type="text"
placeholder="Завдання" class="enter"
name="task_edit_task">
            <input type="submit"
name="subm_edit_task" value="Редагувати">
        </form>
    <div
class="edit_journal_select_item">
        <p>Видалити завдання</p>
        <a href=""
id="add_btn_delete_task">Видалити</a>
    </div>
    <form action="" method="post"
id="add_form_delete_task" class="hidden">
        <p>Виберіть завдання яке
        потрібно видалити:</p>
        <select

```



```
name="select_delete_task" id="">';
    displayOptions();
    echo '    </select>
        <input type="submit"
name="subm_delete_task" value="Видалити">
    </form>';
    echo ' <div class="edit_journal_to_mark">
        <p>Поставити оцінку</p>
        <a href=""
id="add_btn_to_rate">Оцінити</a>
    </div>
        <form action="" method="post"
id="add_form_to_rate" class="hidden">
            <p>Виберіть завдання яке
потрібно оцінити:</p>
            <select
name="select_edit_task" id="">';
```

ДОДАТОК Ж

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

ПОГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного
технічного університету
імені Івана Пулюя
Марушак П.О.
« 21 » березня 20 21 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Перший проректор
Тернопільського національного
технічного університету
імені Івана Пулюя
Митчик М.М.
« 25 » березня 20 21 р.

АКТ

про впровадження в освітньому процесі Тернопільського національного
технічного університету імені І. Пулюя результатів дисертаційного
дослідження Лечаченка Тараса Анатолійовича на тему "Моделі та методи
підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти"

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи
аспіранта кафедри кібербезпеки Лечаченка Тараса Анатолійовича
використано при проведенні лабораторних занять з дисципліни "Методи та
системи підтримки прийняття рішень" (освітній рівень - магістр) для
студентів спеціальності 125 "Кібербезпека".

Лечаченко Т. А. запропонував метод визначення суб'єктивності у
задачах багатокритеріального аналізу підтримки прийняття рішень,
модифікацію методів багатокритеріального аналізу TOPSIS та VIKOR,
TODIM-VIKOR при використанні їх для інтеграції різних підсистем
ранжування.

Розроблені моделі та модифікації методів підтримки прийняття
рішень дозволили студентам ознайомитись із новими підходами вирішення
актуальних проблем у ранжуванні альтернатив.

Голова комісії
нач. навч. відділу
Члени комісії
зав. каф. КБ

І.Г. Ткаченко
Н.В. Загородна



ТОВ "Реворк-Спейс"
 вул. Бережанська 10, офіс 82
 м.Тернопіль, 46027, Україна
 +38 068 699 3913
legal@rework-space.com

АКТ

про впровадження у бізнес-процеси ТОВ "Реворк-Спейс" результатів дисертаційного дослідження Лечаченка Тараса Анатолійовича на тему «Моделі та методи підтримки прийняття рішень в інформаційних процесах дуальної освіти»

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри кібербезпеки Лечаченка Тараса Анатолійовича впроваджено у бізнес-процеси ТОВ "Реворк-Спейс", а саме за розробленою моделлю проведена оцінка вартості підготовки в компанії фахівців з комп'ютерних наук в умовах дуальної освіти.

Лечаченко Т. А. запропонував 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 куратора із навчального закладу та інструктора із компанії. Дана модифікація враховує оцінки куратора як дорадчі, кінцеві значення відхиляються від середніх на користь інструктора. 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 фонду компанії, виділеного на підготовку.

Директор



Грицило А.Б.