

quality of electricity in electrical networks leads to the appearance of such negative phenomena, increase in additional losses in the elements of the electrical network, reduce the service life of electrical equipment, reduce the productivity of production equipment and others. The most significant negative impact on the functioning of the elements of electrical distribution networks, including electricity consumers, is observed with increasing levels of steady-state deviation and voltage asymmetry above the normative values. Modern solar inverters allow you to control the level of steady voltage deviation at the point of their connection to the mains. The design features of the construction of inverters of solar power plants allow them to change (within certain limits) not only the level of steady-state voltage deviation, but also to affect the level of voltage asymmetry and the parameters of the reactive power mode.

In view of this, the task of improving automatic control systems for the distribution of electric networks with solar power plants, the implementation of which will take into account the multifunctional influence of solar inverters on the parameters of these networks is quite relevant.

For the research, a fragment of a typical distribution electrical network with a nominal voltage of 10 kV was used, which contains a solar power plant that connects directly to the 10 kV busbars.

The authors of the article set the problem of controlling the parameters of the mode of distribution electric network with solar power plants in the form of the problem of multicriteria optimization. An approach to solving this problem is also proposed, which is based on the method of solving problems of multicriteria optimization by approaching the utopian point in the space of criteria.

Approximate calculations are carried out, which confirm the possibility of applying the proposed approach to the construction of systems for automatic control of the parameters of the mode of distribution electrical networks with solar power plants

solar power plants, multi-criteria optimization, indicators of the quality of electrical energy

Одержано (Received) 22.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.02.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 004.78

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.44-51](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.44-51)

О.В. Присяжнюк, доц., канд. техн. наук, **О.М. Близнюкова**, канд. психол. наук
*Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира
Винниченка, М. Кропивницький, Україна
e-mail: elena_drobot@ukr.net, blyus@yahoo.com*

Розробка та використання веб додатків для оптимізації процедури проведення навчальної експертизи методом Делфі для задач управління

У статті розглядаються можливості використання веб додатків для навчання студентів організації та проведення колективного оцінювання методом Делфі у задачах управління. Розглянуто модель та технічні аспекти, що виникають при організації онлайн експертизи. Позначені психологічні проблеми, які належить вирішувати при реалізації даного підходу. Запропоновано технологію оптимізації процедури проведення навчальної онлайн експертизи у вигляді веб додатку.

експертна оцінка, метод Делфі, розробка веб додатків

Постановка проблеми. Метод експертних оцінок як науковий інструмент аналізу проблем, що складно формалізуються, в Україні, як і у всьому світі посідає надзвичайно важливе місце. Роль експертного оцінювання засобами онлайн додатків в умовах сучасних суспільно-політичних, економічних, військових, інформаційних та

гуманітарних загроз і викликів значно зросла в багатьох галузях управління, освіти та психології. Практично методи експертного оцінювання реалізуються у вигляді експертиз: індивідуальних і групових, очних і заочних. У зв'язку із зростаючими потребами в отриманні експертних оцінок та обмеженій доступності досвіду та ресурсів спостерігаються тенденції до використання онлайн сервісів для організації та проведенні колективних експертиз. Також слід відмітити важливість навчання майбутніх фахівців з комп'ютерних технологій навичкам проведення та обробки результатів експертного оцінювання, які з одного боку дозволяють формувати фахові компетенції, зокрема, здатність до системного мислення, здатність працювати в команді, здатність приймати обґрунтовані рішення, тощо, а з іншого боку дають досвід розв'язання типових задач управління, які складають суттєвий сегмент потенційних ІТ проектів.

У даній роботі розглядається проблематика оптимізації процесу організації та проведення колективної експертизи в умовах дистанційної взаємодії. Для цього потрібно розробити відповідну технологію, яка дозволяє експертам у зручній для них формі надати оцінки та автоматизувати процедуру їх обробки. Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання низки задач, зокрема проведення опитування експертів, агрегація експертних оцінок, оцінювання міри узгодженості колективної оцінки з індивідуальними, врахування психологічних якостей експертів тощо. Виходячи із широкого розповсюдження Інтернету та охоплення всіх видів управлінської діяльності, дана технологія пропонується у вигляді відповідного веб додатку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні вирішенням проблем експертного оцінювання займаються лише окремі вітчизняні науковці й практики, зокрема, Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк, В.В. Циганок, С.В. Каденко, [1-4]. Питанням формалізації процедур узгодження експертних оцінок приділяється увага у роботах Н.Д. Панкратової [5].

Наразі активно розробляються системи підтримки експертних оцінювань у вигляді веб або мобільних додатків для забезпечення окремих технологічних процесів експертизи, зокрема проведення та обробки експертних оцінювань [6-7]. В першу чергу це стосується кількісних методів експертного оцінювання, оскільки вони відносяться до добре формалізованих задач.

З іншого боку, зарубіжний досвід в галузі сучасних освітніх методів свідчить про тенденції зростання процесів розробки та впровадження електронних навчальних середовищ та їх окремих компонент для візуалізації та моделювання тих чи інших процесів у задачах управління. У роботі французьких дослідників Ф. Тена-Шоле, Дж. Тіксієра [8] наводяться підходи до проектування віртуального навчального середовища для навчання стратегіям прийняття рішень в кризисних ситуаціях та пропонується модель навчального полувіртуального середовища для організації колективного експертного оцінювання..

У дослідницькій статті британських вчених О. Сімкоте, Е. Люгер та інших [9] привертається увага на важливій ролі усвідомленості експертів при використанні ними автоматизованих систем для експертного оцінювання, а саме, щоб вони могли розуміти, наглядати та контролювати процес розробки та залучення таких систем в процес експертизи.

Незважаючи на значну кількість робіт, що стосуються розроблення і вдосконалення методів експертного оцінювання та їх формалізації, аналіз останніх досліджень показав, що для успішного вирішення питань щодо оптимізації навчальних процедур проведення експертиз в умовах дистанційного режиму необхідно розробка та впровадження відповідних онлайн технологій.

Постановка завдання Рішення завдань оптимізації процедури проведення навчальної колективної експертизи методом Делфі шляхом розробки та впровадження відповідного веб додатку.

Виклад основного матеріалу. Методи експертних оцінок застосовуються у випадках, коли задача прийняття рішень повністю або частково не піддається формалізації і не може бути розв'язана відомими процедурами. Завдання експерта полягає в тому, щоби маючи знання в певній предметній області, досвід та інтуїцію, оцінити варіанти рішень та вибрати серед них оптимальне. Суть методів колективних експертних оцінок полягає у приведенні сукупності індивідуальних експертних оцінок до єдиної узгодженої оцінки на базі статистичних або алгебраїчних методів. Це складна і відповідальна робота, особливо в тому випадку, коли рішення проблеми має багатокритеріальний характер і не зводиться до досягнення однієї мети. Для організації колективних експертиз використовуються різні методи отримання експертних оцінок: дискусія, анкетування, мозковий штурм, ділова гра та ін.

Взагалі кажучи, вивчення способів та методів експертного оцінювання студентами спеціальності 122 «Комп'ютерні» науки проводиться на протязі всього курсу дисципліни «Системний аналіз та теорія прийняття рішень». Це і генерація варіантів вибору в заданій предметній області, і оцінювання об'єктів вибору з використанням різних форм оцінок: бінарні оцінки, ранжування, безпосередня оцінка у визначеній шкалі.

Колективна експертиза проводиться в рамках вивчення статистичних методів обробки експертних оцінок [10]. Для формування у студентів навичок проведення експертиз та знаходження результуючого рішення на практиці з ними розглядається метод Делфі, як один з найбільш популярних методів колективного оцінювання.

Основні етапи експертного оцінювання на основі методу Делфі:

- 1) уточнення проблем або об'єктів для експертизи;
- 2) формування групи експертів;
- 3) розробка анкети для опитування експертів;
- 4) індивідуальне анкетне опитування експертів;
- 5) математичне опрацювання результатів опитування;
- 6) узгодження колективної оцінки та за необхідністю уточнення експертами своїх оцінок.

Для формування стійкої узагальненої оцінки, етапи 4, 5, 6 можуть проводитися 2-3 рази. Характерною особливістю методу Делфі є зменшення розпорошеності експертних оцінок з кожним наступним туром та їх зростаюча узгодженість.

Для проведення навчальної експертизи студентам пропонуються набір задач, метою яких є оцінювання ступеню впливу окремих чинників на досліджуваний показник певної предметної області [10] з можливістю уточнення об'єктів експертизи.

Формування груп експертів з 4-6 чоловік відбувається із числа студентів, при цьому усі вони виступають одночасно і у ролі експертів, приймаючи участь у предметних групах своїх колег, так і у ролі аналітиків, обробляючи результати особисто організованої експертизи. На цьому етапі експертизи слід провести процедуру визначення ступеню компетентності експерта. На практиці для оцінювання професійних якостей експерта використовується метод самооцінки. Для цього в анкетах розміщують питання, відповіді на які дозволяють встановити об'єктивні (експериментальні, документальні), чи суб'єктивні (евристичні) оцінки експерта.

Ступінь компетентності експертів, зокрема, визначається за формулою:

$$K_k = \frac{K_z + K_a}{2}, \quad (1)$$

де K_z – коефіцієнт ступеня знайомства експерта з проблемою;

$K_z \leq 1$; K_a – коефіцієнт аргументованості рішень експерта, $K_a \leq 1$.

Коефіцієнт ступеня знайомства K_z визначається самооцінкою експерта за десятибальною шкалою і множенням оцінки на 0,1. Для цього в навчальній експертизі використовується шкала оцінок ступеня знайомства експерта з проблемою, представлена таблицею 1:

Таблиця 1 – Ступінь знайомства експерта з проблемою

0 балів	- експерт не знайомий із проблемою;
1 - 3 бали	- погано знайомий, але проблема входить до кола інтересів
4 - 6 балів	- задовільно знайомий, але практично не займається;
7 - 9 балів	- добре знайомий і займається практично;
10 балів	- вузький фахівець із проблеми.

Джерело: розроблено авторами

Для одержання значення K_a використовується шкала аргументованості, приведена в таблиці 2. Експерт відмічає відповідну графу по кожному виді джерел, а потім числа з відзначених граф підсумовуються.

Таблиця 2 – Шкала аргументованості

Джерело аргументів	Ступінь впливу аргументів		
	високий	середній	низький
Теоретичний аналіз	0,3	0,2	0,1
Досвід	0,5	0,4	0,2
Література	0,1	0,08	0,04
Інтуїція	0,05	0,04	0,02

Джерело: розроблено авторами

Наступним кроком мають бути створення анкет та безпосереднє проведення експертизи. При розробці анкети необхідно дотримуватися таких вимог:

- анкета не повинна містити багато питань;
- відповіді на питання не повинні займати багато часу;
- відповіді повинні даватися суворо в заданій шкалі оцінок;
- анкета, як правило, повинна бути анонімною.

Доцільно застосовувати 10 або 100-бальні шкали оцінок із невеличким числом градацій, кожна градація повинна бути однозначно описана. У таблиці 3 представлена універсальна вербально-числова шкала градацій Харінгтона, адаптована до цілей навчальної експертизи.

Таблиця 3 – Вербально-числова шкала оцінки показників якісного характеру

№	Змістовний опис градацій	Числове значення
1.	Дуже низька	0-1
2.	Низька	2-3
3.	Середня	4-5
4.	Висока	6-7
5.	Дуже висока	8-10

Джерело: розроблено авторами

Всі оцінки, отримані в ході опитування групи експертів, зводяться в матрицю:

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При цьому деякі з оцінок у (2) можуть бути відсутніми, якщо експерт утримався від оцінки якогось чинника.

Узагальнена оцінка важливості чинника обчислюється за формулою:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m c_{ij}}{m_j}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

де M_j – узагальнена оцінка важливості j -го чинника; m_j – кількість експертів, що оцінили j -ий чинник, ($m_j \leq m$); c_{ij} – оцінка в балах, дана i -м експертом j -му чиннику.

З урахуванням коефіцієнта компетентності формула (3) має вигляд:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m K_k c_{ij}}{m_j}. \quad (4)$$

Після того, як усі узагальнені оцінки важливості кожного чинника обраховані можна їх проранжувати. Очевидно, що чим важливіший чинник, тим більше його узагальнена оцінка і тим менший ранг йому відводиться у загальному ранжуванні. Важливою є задача визначення надійності результатів обробки. У зв'язку з цим студентам пропонується також оцінити ступень узгодженості думок експертів.

Таким чином, при обробці оцінок експертів отримується експертний висновок про досліджуване явище або процес і формується рішення проблеми, що задається метою експертизи.

Традиційно при проведенні навчальної експертизи для анкетування використовувались як друковані бланки анкет, так і електронний варіант, а для обробки аналітичних даних найчастіше студентами використовувались можливості табличного процесору Excel. В умовах пріоритетної дистанційної взаємодії в студентсько-викладацькій спільноті актуально постало питання розробки онлайн додатку для автоматизованої обробки результатів і реалізації електронного опитування як основного фактору оптимізації процедури проведення навчальної експертизи.

В ході аналізу архітектурних шаблонів для забезпечення роботи режимів аналітик-адміністратор та експерт було вибрано базову модель «клієнт-сервер». З метою навчальної ефективності додатку виявлено ключові вимоги:

1. Можливість формування бланку для експертного оцінювання
2. Можливість заповнення бланку експертизи та бланку самооцінки з подальшим внесенням даних у БД
3. Можливість обробки експертних оцінок та агрегування їх у колективну оцінку
4. Можливість редагування платформи
5. Візуалізація результатів експертних оцінювань та колективних рішень.

Повноцінними ролями користувача у системі є адміністратор, який одночасно є аналітиком та експерт. На рисунку 1 представлено діаграму прецедентів, на якій відображено можливі ролі користувачів та дії, які вони можуть виконувати.

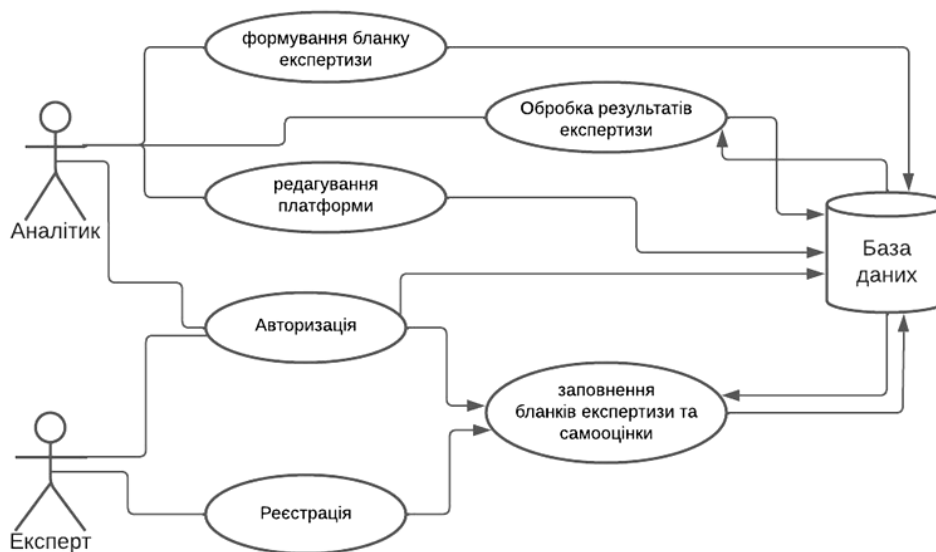


Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання

Джерело: розроблено автором

Вихідні дані для роботи експертів беруться із бази знань, сформованої на попередніх етапах. Передбачено режим запуску сервера при якому зніціюється запуск програми-сервера і відбувається налаштування неї на роботу з базою знань.

Клієнтські частини програмного забезпечення розсилаються експертам, які беруть участь в експертизі. Клієнтська частина, використовуючи спеціально розроблений інтерфейс, дає експертам оцінити альтернативи та відправити результати оцінки в зворотному напрямку до сервера. Результати усіх індивідуальних оцінювань заносяться у спільну таблицю і використовується надалі аналітиком для знаходження колективного рішення за наведеною моделлю (1)-(4).

Висновки. У дослідженні окреслено технологію організації колективного експертного оцінювання за методом Делфі. Наведено модель та необхідні формалізації. Виявлено коло проблем технічного та когнітивного характеру, які виникають у процесі навчання студентів навичкам проведення експертиз та обробки отриманих результатів у форматі дистанційної взаємодії. Розроблено інформаційну технологію, що заснована на проведенні колективних опитувань та обробці експертних оцінювань. Обґрунтовано доцільність розробки та впровадження систем підтримки експертного оцінювання у вигляді веб додатків.

Впровадження розробленої інформаційної технології експертного оцінювання у вигляді веб додатку дозволить студентам засвоїти прийоми проведення експертизи на змістовному та технічному рівні. Перспектива подальших досліджень – це створення цілісного програмного комплексу із охопленням більшості формалізованих методів прийняття колективних рішень та розміщення його у вільному доступі Інтернет.

Список літератури

1. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. Київ: ТОВ «Маклаут», 2008, 444 с. URI: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/56847> (дата звернення: 28.08.2022).
2. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Математичне та програмне забезпечення задач обробки експертної інформації при проведенні іспитів. *Штучний інтелект*. 2010. № 3. С. 638-647. URI: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/56847> (дата звернення: 28.08.2022).
3. Циганок В.В., Качанов П.Т., Каденко С.В., Андрійчук О.В., Гоменюк Г.А. Експериментальний аналіз технології експертного оцінювання. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2012. Т. 14. № 1. С. 91-100. URI: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/50564> (дата звернення: 26.08.2022).
4. Каденко С.В., Циганок В.В. Підходи до оцінки ефективності експертних методів. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2019. Т. 21. № 2. С. 56-71. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2019.21.2.180456>.
5. Панкратова Н.Д., Малафеева Л.Ю. Формализация согласования экспертных оценок при реализации метода Делфи. *Кибернетика и системный анализ*. 2012. Т. 48. № 5. С. 82-94. URI: <http://www.kibernetika.org/volumes/2012/numbers/05/articles/07/7.pdf> (дата звернення: 29.08.2022).
6. Колодний В.В., Зелінська Д.О., Гірдвайніс В.А. Інформаційна технологія колективного прийняття рішень з вибором індивідуальних інструментів оцінювання альтернатив. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2021. Т.50. № 1. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-22-30>.
7. Петяк Ю. Ф. Методика опитування експертів для виявлення факторів інформаційної безпеки мобільних пристроїв. *Наукові записки [Української академії друкарства]. Серія : Технічні науки*. 2015. № 1. С. 23-29. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nztech_2015_1_5. (дата звернення 28.08.2022).
8. Tena-Chollet F., Tixier Jr., Dandrieux A. Slangen P. Training decision-makers: Existing strategies for natural and technological crisis management and specifications of an improved simulation-based tool. *Safety Sciencer*. 2016. Vol. 97. P.144-153. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01534398/document> (Last accessed: 27.11.2020).
9. Simkute A., Luger E., B. Jones, M. Evans, R. Jones Explainability for experts: A design framework for making algorithms supporting expert decisions more explainable. *Journal of Responsible Technology*. 2021. Vol. 7-8. Article 100017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrt.2021.100017>.
10. Присяжнюк О.В. Практикум з теорії прийняття рішень: навч. посіб. Кропивницький: ЦДПУ імені Володимира Винниченка, 2018. 76 с.

References

1. Hnatiienko, H. M. & Snytiuk, V. Ye. (2008). *Ekspertni tekhnolohii pryjniattia rishen'*. [Expert decision-making technologies]. Kyiv: LCC «Maklaut» [in Ukraine].
2. Hnatiienko, H. M. & Snytiuk, V. Ye. (2010). Matematychnе ta prohramne zabezpechennia zadach obrobky ekspertnoi informatsii pry provedenni ispytiv [Mathematical and software support for expert information processing problems during exams]. *Shtuchnyi intelekt – Artificial intelligence, Vol.3*, 638-647 [in Ukraine].
3. Tsyhanok, V.V., Kachanov, P.T., Kadenko, S.V., Andriichuk, O.V. & Homeniuk, H.A. (2012). Eksperymentalnyi analiz tekhnolohii ekspertnoho otsiniuvannia [Experimental analysis of expert evaluation technology]. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh – Data Recording, Storage & Processing, Vol. 14, 1*, 91-100 [in Ukraine].
4. Kadenko, S.V. & Tsyhanok, V.V. (2019). Pidkhody do otsinky efektyvnosti ekspertnykh metodiv [Approaches to evaluating the effectiveness of expert methods]. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh – Data Recording, Storage & Processing, Vol. 14, 1*, 91-100 [in Ukraine].
5. Pankratova, N.D. & Malafieieva, L.Iu. (2012). Formalyzatsiia sohlasovanyia ekspertnykh otsenok pry realizatsii metoda Delfy [Formalization of coordination of expert assessments in the implementation of the Delphi method]. *Kybernetika y sistemnyi analiz – Cybernetics and systemi analysis, Vol. 48, 5*, 82-94 [in Russian].
6. Kolodnyi, V.V., Zelinska, D.O. & Hirdvainis, V.A. (2021). Informatsiina tekhnolohiia kolektyvnogo pryiniattia rishen z vyborom indyvidualnykh instrumentiv otsiniuvannia alternatyv [Information technology of collective decision-making with the choice of individual alternative evaluation tools]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia – Information technology and computer engineering, Vol 50, 1*, 22-30 [in Ukraine].

7. Petiak, Yu. F. (2015). Metodyka opytuvannia ekspertiv dlia vyavlennia faktoriv informatsiinoi bezpeky mobilnykh prystroiv [Method of an expert survey to identify the information security factors for mobile devices]. *Naukovi zapysky Ukrainskoi akademii drukarstva. Seriya : Tekhnichni nauky – Scientific Papers Ukrainian Academy of Printin. Series Technical sciences, 1*, 23-29 [in Ukraine].
8. Tena-Chollet, F., Tixier, Jr., Dandrieux, A. & Slangen, P. (2016). Training decision-makers: Existing strategies for natural and technological crisis management and specifications of an improved simulation-based tool. *Safety Sciencer, Vol. 97*, 144-153 [in English].
9. Simkute, A., Luger, E., Jones, B., Evans, M. & Jones, R. (2021). Explainability for experts: A design framework for making algorithms supporting expert decisions more explainable. *Journal of Responsible Technolog, Vol. 7-8. Article 100017* [in English].
10. Prysiazhniuk, O.V. (2018). *Praktykum z teorii pryiniattia rishen [Workshop on the theory of decision-making]*. Kropyvnytskyi: CUSPU [in Ukraine].

Olena Prysiazhniuk, Assoc. Prof., PhD tech.sci., **Olena Blyzniukova**, PhD psychol.sci.

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Development and Use of Web Applications for Optimization the Procedure of Conducting Educational Expertise Using the Delphi Method for Management Tasks

The purpose of this article is to research the possibilities of optimization of the process of organizing and conducting educational expertise in conditions of remote interaction. The main task is the development of effective and convenient information technology for conducting expert evaluation in the form of a web application. Additional challenges include elucidating key features of the application architecture that can potentially ensure their educational effectiveness.

The technology of organizing expert evaluation in management tasks is assigned. The main stages of conducting an expertise using the Delphi method are characterised and the necessary formalizations are given. A range of technical and cognitive problems that arise in the process of teaching students the skills of conducting expertise and processing the obtained results in the format of remote interaction has been identified. Information technology based on conducting collective surveys and processing expert evaluations has been developed. The key requirements for the software application, which can potentially ensure their educational effectiveness, have been clarified. Prototyping the application at the conceptual level using UML-modeling tools. The expediency of developing and implementing expert evaluation support systems in the form of web applications while learning decision-making theory disciplines is substantiated.

The implementation of the information technology of expert assessment developed by the authors in the form of a web application will allow students to master the methods of conducting an expertise at a substantive and technical level. The prospect of further research is the creation of a complete software complex covering most of the formalized methods of collective decision-making and placing it in the Internet for free access.

expert evaluation, Delphi method, web application development

Одержано (Received) 31.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 11.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022