КВАЛІМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЕКОСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЛЯ РЕКРЕАЦІЇ І ТУРИЗМУ В ПРОСТРОВО-ЧАСОВІЙ ГЕОСИСТЕМІ З ВИКОРИСТАННЯМ FUZZY LOGIC ТА QFD

Бойко Т.[1], д.т.н. проф., Руда М.[2],к.т.н., доц., Паславський М.[3], к.т.н., асис.
[1] – кафедра інтелектуальної мехатроніки та роботики, Національний університет «Львівська політехніка», Україна; e-mail: tgbo@ukr.net
[2] – кафедра екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка», Україна; e-mail: marichkarmv@gmail.com
[3] – кафедра інформаційних технологій, Національний лісотехнічний університет України», e-mail: mykhaylo.paslavskyi@gmail.com

Анотація

В роботі запропоновано комплексний метод кваліметричного оцінювання послуг, які надаються різними постачальниками, і які, зазвичай, виражені характеристиками, що не мають кількісного представлення. Дослідженням передбачено застосування відомого методу розгортання функцій якості (*Quality Function Deployment*), розвиток якого полягає у можливості визначення коефіцієнтів вагомості технічних характеристик культурних екосистемних послуг для рекреації і туризму прострово-часової геосистеми. Для врахування пріоритетності вимог споживачів застосовано експертний метод попарних порівнянь, який модифіковано так, щоби можна було врахувати всі можливі висновки, зокрема застосовувати оцінку рівнозначності характеристик. Для отримання ступеня кореляції характеристик, визначених експертами за вимогами споживачів, і технічних характеристик культурних екосистемних послуг для рекреації і туризму запропоновано використати метод нечіткого логічного висновку – *fuzzy logic*. Оскільки і наявність кореляційних зв'язків і ступінь кореляції між вимогами споживача і технічними характеристиками є результатом взаємодії сукупності найрізноманітніших чинників, серед яких значна кількість може бути випадковими, то на основі центральної граничної теореми, а також досвіду застосування коефіцієнтів кореляції в інших сферах, зроблено висновок, що функція розподілу ймовірності ступенів кореляції добре описується кривою Гауса. Також за методом *fuzzy logic* отримано значення технічних характеристик вказаних екосистемних послуг для трьох просторово-часових геосистем. Оскільки технічні характеристики послуг, що формуються просторово-часовими геосистемами, в основному, виражені якісними показниками, про характер зміни їх значень нічого не відомо і є потреба об'єднати різнорідні характеристики, то запропоновано скористатися трикутною функцією належності.

Ключові слова

Вимога споживача, технічна характеристика, послуга, екосистема, оцінювання якості, розгортання функції якості, нечітка логіка.

1. Вступ

Екосистемні послуги (ЕП) – це корисні ресурси та вигоди, які людина може отримати від природи. Від ЕП залежить задоволення фундаментальних потреб людини в середовищі її існування й продуктах харчування, а отже безпосередньо від них залежить рівень нашого життя. Таке трактування визнають науковці і політики більшості держав світу. У документі ООН «*Millenium Ecosystem Assessment*» екосистемні послуги однозначно називають «прямим і непрямим внеском екосистем у добробут людини» [1].

Послуги екосистем або екосистемні послуги можуть бути визначені, як «набір функцій екосистем, які є корисними для людини» [2]. Вони є наслідком допоміжних процесів, що діють в різних часових і просторових масштабах [3]. Ці загальні визначення мають широке визнання, проте класифікації послуг та їх застосування для прийняття рішень супроводжує низка невизначеностей. Зокрема, існують різні семантичні тлумачення терміну «екосистемні послуги», залежно від конкретної мети [4]. За словами *R. Costanza* і Фольке ЕП «репрезентують отримання людських переваг від екосистемних функцій (ЕФ), прямо чи опосередковано» [5]. За визначенням *G. Daily* [6, 7] ЕП, на означення яких він використовує термін «послуги природи» це – «умови і процеси», а також «життєзабезпечуючі функції». У визначенні документу ООН *Millenium Ecosystem Assessment* [1], яке широко використовувалось у міжнародних наукових дослідженнях, наголошують на безпосередньому зв'язку ЕП та вигод, які створюються прямо чи опосередковано екологічними системами для людини. На основі підходу МЕА, у рамках міжнародного проекту «Економіка екосистем та біорізноманіття», ЕП визначають як прямий і непрямий внесок екосистем у добробут людини [8].

J. Boyd & S. Banzhaf [9] застосовують інше тлумачення терміну. За їхнім визначенням, ЕП – це екологічні компоненти чи структура, які безпосередньо споживаються, або використовуються для створення людського благополуччя. Тому, непрямі процеси і функції не вважаються ЕП, а проміжними екологічними компонентами. На відміну від вищезгаданого визначення, Фішер і співавтори [4] припускають, що ЕП це «певне активне чи пасивне використання екосистем для створення благополуччя людини» [4]. Тому послуги охоплюють

організацію і структуру екосистем, а також процеси та/або функції, якщо вони прямо або опосередковано споживаються людиною.

Є дві основні причини, чому концепція «екосистемних послуг» і пов'язана з нею концепція «природного капіталу» показали свою доцільність в управлінні територіями і прийнятті рішень. По-перше, вони допомагають синтезувати інші необхідні екологічні та економічні концепції, що дає змогу дослідникам і управлінцям об'єднувати соціальні та екологічні системи. По-друге, вчені і політики можуть використовувати ці концепції для того, щоб оцінити економічні і політичні компроміси між розвитком територій та збереженням біорізноманіття.

Існує три види оцінок ЕП, а саме: екологічна, яка базується на індикаторах стану екосистем; монетарна, що може бути легко інтегрована в механізми прийняття рішень, і соціальна, спрямована на сприйняття суспільством ЕП, як засобу для уникнення можливих конфліктів і забезпечення узгоджених рішень [10].

2. Досягнення у галузі вивчення екосистемних послуг

Аналіз останніх досягнень у галузі вивчення екосистемних послуг, проведених групою експертів [11] на основі кількісного узагальнення 153 публікацій впродовж 1997-2021 рр., показав, що 50 % усіх досліджень виконано лише у 6 країнах (переважно США та Китаї), тоді як вартість всіх екосистемних послуг у цих країнах становить лише 23,5 % від загальної їх вартості у глобальному масштабі. Менш ніж у 40 % досліджень використано первинні дані, отримані в результаті спостережень, а майже 2/3 робіт базуються на вторинних результатах. Метод імітаційного моделювання використовувався досить рідко. І загалом, менше 1/3 робіт мають вихідні дані картування екосистемних послуг. Понад 50 % досліджень розглядають екосистемні послуги ізольовано, без урахування взаємозв'язків та зворотних зв'язків і мають фрагментарний характер. Авторами виявлено такі основні напрями вивчення ЕП: отримання інформаційних даних про довкілля на основі моделювання функціонування екосистем зі зворотнім зв'язком, перевірка коректності і достовірності отриманих моделей; зіставлення переваг і недоліків під час зміни видів людської та господарської діяльності; наслідки для екосистем, що знаходяться за межами території – так званий «зовнішній ефект»; залучення зацікавлених сторін.

Сучасні суспільні відносини часто називають суспільством споживання, для якого характерною є вартісна оцінка будь яких матеріальних благ. Тому, очевидним і природним є прагнення дати вартісну оцінку ЕП. Комплексна вартісна оцінка ЕП через їх різноманіття є надто складною. Тому ЕП доцільно подати як сукупність підмножини екологічних процесів і структур. Така аналітична робота виконана в дослідженні [12], де розглянуті і детально описані 23 функції та пов'язані з ними екологічні процеси та структури.

Водночас, з врахуванням концепції сталого розвитку, органам влади необхідно чітко визначати і дотримуватися пріоритетів щодо наслідків різних управлінських рішень в економічній, соціальній та екологічній сферах. Зокрема, стратегічні завдання розвитку України повинні бути спрямовані на дбайливе та раціональне використання природного капіталу. Для цього потрібною є як об'єктивна оцінка природно-ресурсного потенціалу, так і використання результатів оцінки для альтернативних варіантів господарського використання [13]. При розробці стратегічних програм територіального і галузевого розвитку економіки важливо враховувати ефективність використання ресурсів у глобальному масштабі. А це потребує застосування сучасних комплексних підходів до оцінки ресурсного потенціалу, зокрема ЕП, що визначає актуальність цього дослідження.

Характер взаємодії людини з середовищем визначають потоки речовин, енергій та інформації. Змінюючи значення будь-якого потоку маси, енергії, інформації, дій людини від мінімально значущої до максимально можливої, можна пройти ряд характерних станів взаємодії в системі «людина – середовище функціонування». Відповідно до екосистемного підходу, що базується на мультикомпартментальній концепції [15], природні відновні та невідновні ресурси слід розглядати, з одного боку, як основні компоненти природного капіталу, з іншого - як компартменти просторово-часової геосистеми (ПЧГ), з врахуванням виконуваних ними функцій та послуг. Тобто, ЕП є вигодами, які людина отримує від функціонування ПЧГ, і їх слід трактувати як матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки, що породжуються запасами природного капіталу в поєднанні з фізичним (будівлі, обладнання) і людським капіталом та забезпечують добробут людства [15].

Механізм отримання ЕП просторово-часової геосистеми полягає у взаємодії її компартментів, ярусів і підсистем з атмосферою, водою, ґрунтом тощо та в підтримці їхніх якісних і кількісних параметрів на оптимальному екологічному рівні для отримання вигод споживачами. Зокрема, до рекреаційних і туристичних послуг ПЧГ відносяться відпочинок на природі, оздоровлення організму, спостереження за природою, задоволення культурно-пізнавальних потреб, полювання, збирання грибів та ягід та інші. У цьому випадку рекреація не має комерційного характеру, а спрямована на задоволення потреб населення у відпочинку та оздоровленні організму [16, 17].

Аналіз стандартів *ISO* 9001:2015 та *ISO* 14001:2015 показує, що їх вимоги до нормування якості ПЧГ передбачають, зокрема, ретельне дослідження не лише зовнішнього і внутрішнього середовища ПЧГ, а й застосування процесного підходу до оцінювання впливу основних ресурсів зовнішнього середовища на базові процеси функціонування екосистем, таких як, наприклад, фотосинтез і дихання, а також розроблення нових методів оцінювання стану, за якого ПЧГ здатні зберігати свою цілісність та надавати екосистемні послуги в умовах постійного впливу з боку технічних систем.

Взаємний вплив різних послуг або зміни в самій ПЧГ можуть по-різному впливати на надання ними своїх власних ЕП. Це робить ПЧГ дуже складними для кваліметричного оцінювання.

3. Мета роботи

Метою дослідження було представити метод отримання оцінки культурних екосистемних послуг для рекреації і туризму (далі – культурних ЕП) ПЧГ. В основу методу покладено встановлення зв'язків між вимогами споживачів (ВС), які вони ставлять до культурних ЕП ПЧГ, і її технічними характеристиками (ТХ).

4. Методи досліджень

Отримані кореляційні зв'язки використано для кваліметричного оцінювання культурних ЕП трьох різних ПЧГ. Запропоновано використати експертне оцінювання, зокрема методи попарних порівнянь та безпосереднього оцінювання, в поєднанні з методом розгортання функцій якості (англ. *Quality Function Deployment* – QFD) та нечіткою логікою (англ. *Fuzzy Logic*) на прикладі оцінювання культурних ЕП ПЧГ Карпатських гірських лісів. Вхідні дані отримано опитуванням групи експертів, обраних на основі їх знань і досвіду у відповідній галузі.

Оскільки вхідні змінні в традиційному застосуванні методу QFD здебільшого представлені чіткими числовим значеннями і в результаті їх опрацювання також отримують точні оцінки, а реалізація методу QFD в цьому дослідженні потребує поєднання різних вхідних даних, поданих у вигляді нечітких лінгвістичних змінних, що є досить неточними і суб'єктивними, то запропоновано використати техніку перетворення нечітких даних в чіткі. Водночас відомо, що людські побажання, думки, оцінки важливості, істотність зв'язків між різними вимогами (наприклад, між ВС і ТХ) здебільшого викладають у вигляді висловлювань, яким теж властива невизначеність. Завдання полягало в подоланні цієї нечіткості, невизначеності і, загалом, неточності людських тверджень. Для вирішення цих проблем запропоновано використати дефазифікацію зібраних нечітких даних.

Метод QFD [18] полягає у побудові так званих «будиночків якості» (англ. HoQ – *House of Quality*). HoQ це – формалізоване представлення значень різних вхідних величин, придатне для їх опрацювання за певним алгоритмом. Вигляд такого «будиночка якості» на прикладі поставлених в роботі завдань показано у таблиці 1.

Таблиця 1 – Зразок HoQ для визначення вагомості показників якості культурних ЕП ПЧГ

Множина характеристик за вимогами споживача {ВСХ*i*}	Пріоритетність кожної вимоги споживача – *Im*	Множина технічних характеристик {$ТХ_j$} і відповідних їм кількісних значень q_j					
		$ТХ_1$	$ТХ_2$	….	$ТХ_j$	….	$ТХ_m$
		q_1	q_2	….	q_j	….	q_m
$ВСХ_1$	Im_1	r_{11}	r_{12}	….	r_{1j}	….	r_{1m}
$ВСХ_2$	Im_2	r_{21}	r_{22}	….	r_{2j}	….	r_{2m}
….	….	….	….	….	….	….	….
$ВСХ_i$	Im_i	r_{i1}	r_{i2}	….	r_{ij}	….	r_{im}
….	….	….	….	….	….	….	….
$ВСХ_n$	Im_n	r_{n1}	r_{n2}	….	r_{nj}	….	r_{nm}
		Вагомість кожної технічної характеристики – w_j					
		w_1	w_2	….	w_j	….	w_m

Результатом виконання алгоритму за таблицею 1 є завершена множина порівняльних оцінок $\{w_j\}$, які в нашому випадку є коефіцієнтами вагомості технічних характеристик і можуть бути використана безпосередньо, чи як вхідні дані для наступного будиночка. Першу таблицю QFD, зазвичай, називають матрицею першої фази або планування.

Процес реалізації методу за кожною таблицею QFD містить кілька типових кроків. Під час побудови матриці планування першим виконують ідентифікацію ВС. На цьому етапі відбувається визначення потреб споживача через висловлювання їх очікувань і пріоритетів, які і називатимемо вимогами споживача. Здебільшого це очікувані переваги в об'єкті, продукті або послузі, виражені власними словами споживача.

Далі ВС намагаються конкретизувати у вигляді впорядкованої сукупності і представити характеристиками, що враховують сприйняття споживача – характеристиками за вимогами споживача (ВСХ). Це залежить від досвіду членів експертної команди. Таблицю заповнюють за допомогою даних отриманих з анкет, інтерв'ю або опитування цільових груп. Поле характеристик за вимогами споживача $ВСХ_i$ (табл. 1) представлене величинами, які не потребують опису кількісними значеннями, а лише вербальними формулюваннями. Оскільки тут кінцевою метою є визначення пріоритетності Im_i кожної $ВС_i$, чи $ВСХ_i$, то доцільно застосувати відповідне експертне оцінювання, наприклад метод попарних порівнянь.

Наступним, кроком є процес визначення технічних вимог до послуги. Часто їх називають вимірюваними оскільки до технічних характеристик ставлять вимогу, аби їх можна було визначити об'єктивним шляхом. Такі характеристики називають технічним, і в таблиці HoQ (табл. 1) їх зображено областю $\{ТХ_j\}$. Для оцінювання культурних ЕП частина ТХ може бути подана фізичними або іншими вимірюваними величинами, а частина, як показує практика, істотно більша – це величини виражені лінгвістичними змінними. Очевидно, що для їх представлення кількісними значеннями доцільно застосувати нечітку логіку.

Номенклатуру ТХ визначає багатопрофільна команда експертів, які досконало орієнтуються як в специфіці об'єкту, продукту чи послуги, так і в методах і способах нормування і визначення ТХ.

Подальше заповнення таблиці будинку якості HoQ – полягає в отриманні кореляційних зв'язків між характеристиками ВС і ТХ – поле r_{nm} (табл. 1). Взаємний вплив технічних характеристик і характеристик за

вимогами споживача теж визначають експерти. Тут істотною є не лише наявність, але й ступені взаємного впливу ТХ і ВС, для встановлення якого теж добре надаватиметься нечітка логіка.
Наступними визначають вагомості ТХ, визначені областю значень w_j, розташованою в основі будиночку якості (табл. 1). Вагомості є одними з основних вихідних даних HoQ і їх визначають як:

$$w_j = \sum_{i=1}^{n} Im_i \cdot r_{ij} \quad (1)$$

де r_{ij} – значення коефіцієнта кореляції $ТХ_j$ з $ВС_i$, Im_i – пріоритетність $ВС_i$.

Для об'єднання думки всіх індивідуальних рішень експертів необхідне загальне представлення даних. При цьому експерти висловлюють свої висновки словами і фразами – нечіткими лінгвістичні змінними, які дають змогу представити різні аспекти людського трактування (висловлювання). Також експерти поєднують нечіткі лінгвістичні змінні з численними лінгвістичними критеріями, такими як низький, середній, високий – лінгвістичними термами. При цьому використовують фазифікацію (англ. *fuzzyfication*) – перехід від чіткого значення деякого параметра до нечіткого значення деякої лінгвістичної змінної. Для здійснення такого переходу необхідна функція належності значень лінгвістичної змінної нечіткій множині A. Процес фазифікації полягає в завчасному зборі експертної інформації та її опрацюванні для побудови функцій належності вхідних величин [19]. Метою фазифікації є встановлення відповідності між конкретним (зазвичай чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого логічного висновку і значенням функції належності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної. В результаті фазифікації для всіх вхідних змінних встановлюють конкретні значення функцій належності за кожним лінгвістичним термом системи нечіткого логічного висновку.
Під нечіткою множиною A будемо розуміти сукупність впорядкованих пар, що складаються з елементів x універсальної множини X і відповідних їм ступенів належності $\mu_A(x)$: $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$. $\mu_A(x)$ – функція належності (характеристична функція), вказує наскільки (з яким ступенем) елемент x належить нечіткій множині A [20]. Функція $\mu_A(x)$ приймає окремі значення серед певної лінійно впорядкованої множини M. Множину M називають множиною ступенів належностей. Часто як M вибирають відрізок [0, 1]. Якщо M містить лише два елементи, тобто $M = \{0, 1\}$, то нечітку множину трактують як чітку. Нехай в нашому випадку A є класом об'єктів з незліченною множиною ступенів належності і є нормальною, тобто її висота $\sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1$. Тоді для A можна використати певну функцію належності. Найчастіше використовують функції трикутну, трапецієподібну, S- і Z-подібні, сигмоїдну, П-подібну, зокрема гаусову, а також функцію-сінглтон [21].
Наступною виконують дефазифікацію – процедуру перетворення значень нечіткої множини A в чіткі значення за ступенем належності. У теорії нечітких множин процедура дефазифікації є аналогічною знаходженню характеристик розташування – математичного сподівання, моди, медіани – випадкових величин у теорії ймовірностей [22].
У нашому випадку дефазифікація – процес отримання оцінки нечіткого числа, яке характеризується своєю формою, розмахом, висотою і відносним розташуванням на осі x. Перетворення нечітких даних в чіткі здійснюють через нечіткі процедури композиції. Визначаючи ліві і праві значення, отримують максимум і мінімум нечітких чисел. Згідно з функціями належності нечітких чисел загальне значення визначають як середньозважене.
У випадку кореляційних зв'язків між характеристиками за ВС і ТХ для «будиночка якості» (таблиця 1) їх значення отримують з формули: $\bar{r} = \sum_{k=1}^{l} r_k \mu(r_k) \Big/ \sum_{k=1}^{l} \mu(r_k)$, яка характеризуватиме прийняття рішення на основі висновків $k = 1,2, \ldots l$ експертів за нечіткими оцінками кожного k-го експерта про ступінь впливу критерію j – технічної характеристики на критерій i – вимогу споживача.
Результат реалізації методу доцільно подати на прикладі отримання кваліметричних оцінок кількох надавачів культурних ЕП ПЧГ для їх порівняльної характеристики [23]. Кваліметричну оцінку шукатимемо за універсальною формулою:

$$U = F(w_1 q_1, w_2 q_2, \ldots, w_j q_j, \ldots, w_{m-1} q_{m-1}, w_m q_m), \quad (2)$$

де F – функціонал, що поєднує сукупність q_j – тих значень ТХ з врахуванням їх вагомостей w_j.
Наприклад, у випаду арифметичного підсумовування формула (2) матиме вигляд:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^{m} w_j \cdot q_j}{\sum_{j=1}^{m} w_j}. \quad (3)$$

Для збору даних і отримання початкових оцінок слід обрати експертів з досвідом у відповідній галузі. Експертами можуть бути менеджери, інженери з якості та представники користувачів сервісу.

5. Results of the Studies

Визначення вимог споживачів полягає у формування експертами переліку якісних характеристик, встановлених за результатами опитування представників користувачів культурних ЕП ПЧГ, та встановлення ступенів їх істотності – пріоритетності для споживача. За оцінками експертів визначено перелік з дев'яти характеристик, які найбільш повно відображають ВС до якісних властивостей культурних ЕП (таблиця 2).

Таблиця 2 – Вимоги споживачів та ВСХ до культурних ЕП Карпатських гірських лісів

№	Вимоги споживачів	Найменування ВСХ	Позначення
1	Комфортний клімат	Близькість фізико-географічних характеристик території до комфортних	RES(1)
2	Доступ до цікавих об'єктів	Рівень доступності до природного та історико-культурного потенціалу території	RES(2)
3	Сприятливе географічне розташування	Рівень затрат на доступ до послуги	RES(3)
4	Відсутність бруду і сміття	Ступінь забруднення компонентів довкілля	RES(4)
5	Красиві і різноманітні пейзажі	Ступінь атрактивності пейзажів	RES(5)
6	Привабливість культурних об'єктів	Рівень естетичних властивостей об'єктів	RES(6)
7	Унікальність культурних об'єктів	Наявність об'єктів світового значення, занесених в охоронні списки	RES(7)
8	Безпечне місцеперебування	Рівень рекреаційного освоєння території	RES(8)
9	Умови для активного туризму	Ступінь забезпечення фауністичними та флористичними ресурсами	RES(9)

В роботі запропоновано визначати пріоритетність – Im_i ВС використовуючи експертний метод попарних порівнянь [24]. Метод модифіковано так, щоби можна було врахувати всі можливі висновки, до яких можуть прийти експерти в ході своєї роботи, зокрема застосовувати за результатами порівняння характеристик оцінку їх рівнозначності.

В оцінюванні (попарному порівнянні) прийняло участь N=7 експертів, які безпосередньо здійснювали опитування і опрацювання побажань користувачів сервісу. Кожен з них незалежно заповнив свою окрему матрицю. Приклад заповненої експертом матриці показано в таблиці 3. Після опрацювання даних всіх матриць отримано усереднені дані для всієї сукупності експертів.

Таблиця 3 – Матриця попарних порівнянь заповнена експертом 1

Характеристики за ВС	Характеристики за ВС									E^1 – частота перева-жання характеристики в рядку над характе-ристикою в стовпчику
	RES(1)	RES(2)	RES(3)	RES(4)	RES(5)	RES(6)	RES(7)	RES(8)	RES(9)	
RES(1)	-	2	1	1	5	1	7	1	1	5
RES(2)	-	-	2	2	2	2	27	2	2	6,5
RES(3)	-	-	-	4	5	36	7	38	3	2
RES(4)	-	-	-	-	45	46	7	4	4	3
RES(5)	-	-	-	-	-	5	7	5	5	3
RES(6)	-	-	-	-	-	-	7	6	9	1
RES(7)	-	-	-	-	-	-	-	7	7	2
RES(8)	-	-	-	-	-	-	-	-	8	1
RES(9)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
E^2 – частота пере-важання характе-ристики в стовп-чику над характе-ристикою в рядку	0	1	0	1	2,5	1	5,5	0,5	1	

Результати опрацювання оцінок, здійснених експертом 1 (за даними таблиці 3), частоти переважання окремих характеристик, сформованих за ВС, над суміжними під час надання ЕП просторово-часової геосистеми Карпатських гірських лісів подано в табл. 4.

Таблиця 4 – Сумарна частота переважання істотності e_{i1} кожної i-ї ВСХ за даними експерта 1

№	Найменування характеристик за ВС	E^1_{i1}	E^2_{i1}	e_{i1}
1	Близькість фізико-географічних характеристик території до комфортних	5	0	5
2	Рівень доступності до природного та історико-культурного потенціалу території	6,5	1	7,5
3	Рівень затрат на доступ до послуги	2	0	2
4	Ступінь забруднення компонентів довкілля	3	1	4
5	Ступінь атрактивності пейзажів	3	2,5	5,5
6	Рівень естетичних властивостей об'єктів	1	1	2
7	Наявність об'єктів світового значення, занесених в охоронні списки	2	5,5	7,5
8	Рівень рекреаційного освоєння території	1	0,5	1,5

9	Ступінь забезпечення фауністичними та флористичними ресурсами	0	1	1
	Σ	23,5	12,5	36

Враховуючи думки (сумарну частоту e_{ij} за кожною характеристикою) всіх експертів можна визначити середню сумарну частоту e_i за i-ю характеристикою за формулою:

$$e_i = \frac{\sum_{j=1}^{N} e_{ij}}{N}, \quad (4)$$

де e_{ij} – сумарна частота переважання характеристик за даними окремого експерта; N – кількість експертів і, відповідно, матриць попарних порівнянь.

Здійснивши опитування кожного експерта і провівши опрацювання всіх 7-ми матриць сформовано зведену таблицю частот переважання всіх характеристик (табл. 5).

Таблиця 5 – Зведена таблиця сумарних частот ВСХ згідно опитування 7-ох експертів

№	Найменування характеристик за ВС	e_{i1}	e_{i2}	e_{i3}	e_{i4}	e_{i5}	e_{i6}	e_{i7}	e_i
1	Близькість фізико-географічних характеристик території до комфортних	5	6,5	7	6,5	5	5	5	5,71
2	Рівень доступності до природного та історико-культурного потенціалу території	7,5	7	7	7,5	7,5	7	6	7,07
3	Рівень затрат на доступ до послуги	2	2	1,5	2,5	3	2	3	2,29
4	Ступінь забруднення компонентів довкілля	4	5,5	4	3,5	4	5	4	4,29
5	Ступінь атрактивності пейзажів	5,5	4	4	4,5	5	5	6	4,86
6	Рівень естетичних властивостей об’єктів	2	3	3	2	2	2	3	2,43
7	Наявність об’єктів світового значення, занесених в охоронні списки	7,5	6,5	6,5	7	7	7	6	6,79
8	Рівень рекреаційного освоєння території	1,5	1,5	2	1,5	1,5	2	1	1,57
9	Ступінь забезпечення фауністичними та флористичними ресурсами	1	0	1	1	1	1	2	1
	Σ	36	36	36	36	36	36	36	36

Наступний крок полягає в розрахунку коефіцієнтів пріоритетності M_i для кожної з визначених характеристик. Загальне число проведених кожним експертом попарних порівнянь становить:

$$y = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (5)$$

де n – кількість характеристик.

Тоді коефіцієнт пріоритетності кожної з визначених характеристик шукатимуть за формулою:

$$M_i = \frac{e_i}{y}, \quad (6)$$

де e_{ij} – сумарна частота; y – загальна кількість проведених кожним експертом попарних порівнянь.

Отримані дані представлені у таблиці 6.

Таблиця 6 – Коефіцієнти пріоритетності M_i кожної окремої ВСХ

№	Найменування характеристик за ВС	Σe_{ij}	e_i	M_i
1	Близькість фізико-географічних характеристик території до комфортних	40	5,71	0,16
2	Рівень доступності до природного та історико-культурного потенціалу території	49,5	7,07	0,20
3	Рівень затрат на доступ до послуги	16	2,29	0,06
4	Ступінь забруднення компонентів довкілля	30	4,29	0,12
5	Ступінь атрактивності пейзажів	34	4,86	0,13
6	Рівень естетичних властивостей об’єктів	17	2,43	0,07
7	Наявність об’єктів світового значення, занесених в охоронні списки	47,5	6,79	0,19
8	Рівень рекреаційного освоєння території	11	1,57	0,04
9	Ступінь забезпечення фауністичними та флористичними ресурсами	7	1	0,03
	Σ	252	36,01	1

Значення пріоритетності M_i з останньої колонки таблиці 6 використані в подальшому для розрахунку вагових коефіцієнтів технічних характеристик.

Наступними були визначені кореляційні зв’язки між характеристиками за ВС та ТХ. Під час формування переліку технічних характеристик кожен експерт визначає які є якісні і кількісні фактори, що характеризують здатність ПЧГ належно надавати необхідні ЕП, і які можуть бути використані для його оцінювання. Визначені ТХ наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 – ТХ культурних ЕП просторово-часової геосистеми

№	Найменування технічної характеристики	Позначення
1	Атрактивність культурних ЕП (якісна характеристика)	Sp(1)
2	Контрастність території ПЧГ (якісна характеристика)	Sp(2)
3	Кількість культурних об'єктів (кількісна характеристика)	Sp(3)
4	Оригінальність (неповторність) об'єктів (якісна характеристика)	Sp(4)
5	Різноманітність природних рекреаційних ресурсів (якісна характеристика)	Sp(5)
6	Використання традицій і туристично-рекреаційного спадку регіону ПЧГ (якісна характеристика)	Sp(6)
7	Наявність об'єктів природо-заповідного фонду (якісна характеристика)	Sp(7)
8	Компартментальна мозаїчність фітоценозу на території ПЧГ (якісна характеристика)	Sp(8)

Далі представлено результати оцінювання експертами ступеня кореляції характеристик, визначених за вимогами споживачів – ВСХ, та технічних характеристик культурних ЕП ПЧГ. Для цього кожен експерт користуючись універсальною шкалою оцінює взаємний вплив ТХ і ВСХ. Експертам запропоновано поєднувати нечітку лінгвістичну змінну «коефіцієнт кореляції ВСХ і ТХ» зі спеціально розробленою сукупністю лінгвістичних термів. Розроблена сукупність найбільш повно охоплює градацію можливих оцінок і дає змогу ефективно перейти від нечітких до чітких оцінок використовуючи функцію належності.

В таблиці 8 подані лінгвістичні терми змінної «коефіцієнт кореляції ВСХ і ТХ» та відповідні їм нечіткі числові значення.

Таблиця 8 – Лінгвістичні терми і відповідні їм нечіткі значення для визначення коефіцієнтів кореляції ВСХ і ТХ

	Лінгвістичний терм	*Нечітке числове значення*
(П)	Повна	(0,95, 1,00)
(ДВ)	Дуже висока	(0,85, 0,90, 0,95)
(В)	Висока	(0,75, 0,80, 0,85)
(НСНВ)	Ні середня, ні висока	(0,65, 0,70, 0,75)
(ВС)	Вище середнього	(0,55, 0,60, 0,65)
(С)	Середня	(0,45, 0,50, 0,55)
(НС)	Нижче середнього	(0,35, 0,40, 0,45)
(НСНН)	Ні середня, ні низька	(0,25, 0,30, 0,35)
(Н)	Низька	(0,15, 0,20, 0,25)
(ДН)	Дуже низька	(0,05, 0,10, 0,15)
(О)	Відсутня	(0,00, 0,05)

В таблиці 9 подано приклад оцінювання кореляційних зв'язків між ТХ і ВСХ одним експертом з допомогою шкали лінгвістичних термів змінної «коефіцієнт кореляції», поданих в таблиці 8.

Таблиця 9 – Приклад лінгвістичних оцінок окремим експертом ступеня кореляції між ТХ і ВСХ

	Sp(1)	Sp(2)	Sp(3)	Sp(4)	Sp(5)	Sp(6)	Sp(7)	Sp(8)
RES(1)	О	С	НСНН	НС	НС	ДН	О	О
RES(2)	О	ДН	НСНВ	НСНН	ДН	ВС	ДН	В
RES(3)	Н	НСНВ	ДН	О	О	О	О	О
RES(4)	ДН	Н	ВС	ДВ	В	В	ВС	О
RES(5)	П	ВС	ДН	НСНВ	НСНВ	ВС	НСНН	НСНВ
RES(6)	НСНН	НСНН	НСНВ	С	В	ДН	ДН	ДВ
RES(7)	ДН	В	ДВ	Н	О	О	С	ДВ
RES(8)	Н	НС	НС	О	О	О	О	НСНН
RES(9)	ДВ	ДВ	С	ДН	О	О	О	ДН

Оскільки і наявність кореляційних зв'язків і ступінь кореляції між вимогами споживача і технічними характеристиками є результатом взаємодії сукупності найрізноманітніших чинників, серед яких значна кількість може бути випадковими, то на основі центральної граничної теореми, а також досвіду застосування коефіцієнтів кореляції в інших сферах, можна припустити, що функція розподілу ймовірності ступенів кореляції добре описується кривою Гауса. Тобто більшість кореляційних зв'язків набувають значень, що знаходяться в інтервалі $(0,3 < r < 0,7)$, а значить близьких до середини діапазону.

Результати опрацювання нечіткої множини всіх вербальних оцінок, отриманих від 7-ми експертів з використанням даних таблиці 8 та запропонованої функції належності, представлено в таблиці 10.

Таблиця 10 –Результати розрахунку ступеня кореляції між ТХ і ВСХ

	Sp(1)	Sp(2)	Sp(3)	Sp(4)	Sp(5)	Sp(6)	Sp(7)	Sp(8)
RES(1)	0,08	0,41	0,33	0,39	0,37	0,08	0,05	0,00
RES(2)	0,00	0,04	0,59	0,31	0,07	0,61	0,45	0,86
RES(3)	0,21	0,69	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02
RES(4)	0,13	0,59	0,10	0,85	0,81	0,68	0,30	0,71
RES(5)	1,00	0,61	0,05	0,55	0,79	0,57	0,29	0,70
RES(6)	0,25	0,40	0,62	0,48	0,85	0,10	0,07	0,88
RES(7)	0,12	0,60	0,95	0,24	0,00	0,05	0,55	0,91
RES(8)	0,20	0,38	0,44	0,00	0,00	0,09	0,40	0,28
RES(9)	0,91	0,78	0,55	0,11	0,00	0,00	0,10	0,12

Дефазифікацію здійснено з використанням методу центру ваги за формулою

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{7} (r_{ij})_k \, \mu(r_{ij})_k}{\sum_{k=1}^{7} \mu(r_{ij})_k}$$

де $\bar{r}_{ij}$ – середньозважений коефіцієнт парної кореляції між *i*-ю характеристикою за ВС та *j*-ю ТХ, визначений за оцінками 7-ми експертів; $(r_{ij})_k$ – нечітка оцінка коефіцієнта парної кореляції між *i*-ю характеристикою за ВС та *j*-ю ТХ, визначена *k*-тим експертом; $\mu(r_{ij})_k$ – значення функції належності для нечіткої оцінки коефіцієнта парної кореляції, визначеного *k*-тим експертом.

Результати визначення вагомостей ТХ представлені в таблиці 11.

Таблиця 11 – «Будиночок якості» для визначення вагомості ТХ культурних ЕП Карпатських гірських лісів

Характеристики за вимогами споживача - ВСХ	Пріоритетність кожної вимоги споживача - *Im*	Множина технічних характеристик {ТХ$_j$} та відповідних їм кількісних значень q_j							
		Sp(1)	Sp(2)	Sp(3)	Sp(4)	Sp(5)	Sp(6)	Sp(7)	Sp(8)
		q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8
RES(1)	0,16	0,08	0,41	0,33	0,39	0,37	0,08	0,05	0,00
RES(2)	0,20	0,00	0,04	0,59	0,31	0,07	0,61	0,45	0,86
RES(3)	0,06	0,21	0,69	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02
RES(4)	0,12	0,13	0,59	0,10	0,85	0,81	0,68	0,30	0,71
RES(5)	0,13	1,00	0,61	0,05	0,55	0,79	0,57	0,29	0,70
RES(6)	0,07	0,25	0,40	0,62	0,48	0,85	0,10	0,07	0,88
RES(7)	0,19	0,12	0,60	0,95	0,24	0,00	0,05	0,55	0,91
RES(8)	0,04	0,20	0,38	0,44	0,00	0,00	0,09	0,40	0,28
RES(9)	0,03	0,91	0,78	0,55	0,11	0,00	0,00	0,10	0,12
		Розрахована вагомість кожної технічної характеристики							
		0,2466	0,4457	0,4515	0,3804	0,3326	0,3106	0,3031	0,5987
		Нормалізовані вагомості технічних характеристик – w_j							
		0,0803	0,1452	0,1471	0,1239	0,1084	0,1012	0,0988	0,1951

Після отримання нормалізованих значень вагомості ТХ, які фактично є коефіцієнтами вагомості кожної технічної характеристики культурної ЕП ПЧГ, можна отримати кваліметричні оцінки різних просторово-часових геосистем. Як вже було вказано раніше, постачальниками сервісу запропоновано вважати 3 умовні ПЧГ – A, B, C, які надають споживачам культурні ЕП. Для формування лінгвістичних оцінок за кожною ТХ експертам запропоновано іншу терм-множину, яка дає змогу об’єднати різні за своєю фізичною природою

технічні характеристик (табл. 7). Використані лінгвістичні терми і відповідні їм нечіткі числа, наведені у таблиці 12.

Таблиця 12 – Лінгвістичні терми і відповідні їм нечіткі значення для отримання експертних оцінок ТХ

	Лінгвістичний терм	*Нечітке число*
(ДВ)	Дуже високий	(8, 9, 10)
(В)	Високий	(6, 7, 8)
(С)	Середній	(4, 5, 6)
(Н)	Низький	(2, 3, 4)
(ДН)	Дуже низький	(0, 1, 2)

Коли про характер зміни значень ТХ нічого не відомо і є потреба об'єднати різнорідні ТХ, доцільно скористатися трикутною функцією належності [25, 26]. В цьому випадку нечітку подію описують параметри α, β, γ: α – найменш можливе значення, β – найбільш перспективне значення (значення на числовій шкалі, яке найкраще характеризує відповідне значення лінгвістичного терму) і γ - найбільш можливе значення.
Результати оцінювання окремим експертом за всіма ТХ кожної з трьох порівнюваних просторово-часових геосистем показано в таблиці 13.

Таблиця 13 – Приклад лінгвістичних оцінок окремим експертом значень ТХ просторово-часових геосистем А, В, С

	Sp(1)	Sp(2)	Sp(3)	Sp(4)	Sp(5)	Sp(6)	Sp(7)	Sp(8)
А	ДВ	С	Н	В	С	В	В	Н
В	С	ДВ	В	ДВ	С	В	В	С
С	Н	В	Н	ДВ	В	С	ДВ	ДН

Дефазифікація містить п'ятикроковий алгоритм [25].
1. Нормалізація. Визначаємо розмах значень, які може приймати нечітка змінна серед оцінок j-ої ТХ всіма l=1, 2, … k, …, 7 експертами:

$$\Delta = max\gamma_j - min\alpha_j. \quad (7)$$

Виконуємо нормалізацію кожного параметра оцінки k-го експерта:

$$\alpha_j^N = \left(\alpha_j - min\alpha_j\right)/\Delta, \quad (8)$$

$$\beta_j^N = \left(\beta_j - min\beta_j\right)/\Delta, \quad (9)$$

$$\gamma_j^N = \left(\gamma_j - min\gamma_j\right)/\Delta \quad (10)$$

2. Розраховуємо ліве (l) і праве (r) нормалізовані значення:

$$\alpha l_j^N = \frac{\beta_j^N}{1+\beta_j^N-\alpha_j^N}, \quad (11)$$

$$\gamma r_j^N = \frac{\gamma_j^N}{1+\gamma_j^N-\beta_j^N}. \quad (12)$$

3. Розраховуємо загальне нормалізоване чітке значення:

$$N_j = \frac{\alpha l_j^N\left(1-\alpha l_j^N\right)+\left(\gamma r_j^N\right)^2}{1-\alpha l_j^N+\gamma r_j^N}. \quad (13)$$

4. Розраховуємо чітке значення j-ої ТХ k-го експерта:

$$q_j = min\alpha_j + \Delta N_j. \quad (14)$$

5. Виконуємо об'єднання чітких значень у вигляді середнього за оцінками всіх l експертів:

$$\overline{q}_j = \frac{1}{l}\left(q_j^1 + q_j^2 + ... + q_j^k + ... + q_j^l\right). \quad (15)$$

Результати дефазифікації нечітких лінгвістичних оцінок, отриманих від всіх 7-ми експертів за кожною технічною характеристикою і за кожною досліджуваною ПЧГ, зведені в таблиці 14.

Таблиця 14 – Результати оцінювання просторово-часових геосистем А, В, С всіма експертами за кожною ТХ

	Sp(1)	Sp(2)	Sp(3)	Sp(4)	Sp(5)	Sp(6)	Sp(7)	Sp(8)
А	8,531	5,501	3,035	6,174	4,411	6,907	7,181	2,891
В	6,282	8,147	6,168	7,551	5,991	7,912	6,921	5,750

C	3,825	6,011	3,312	7,276	8,172	4,553	9,573	1,101

Для отримання кінцевої оцінки – щоб порівняти між собою просторово-часові геосистеми A, B, C, які надають культурні ЕП, використано формулу (3).
В таблиці 15 показано кінцеві результати оцінки кожної просторово-часової геосистеми, що надає культурні ЕП.

Таблиця 15–Кваліметричні оцінки трьох ПЧГ, що надають культурні ЕП

Просторово-часова геосистема	Оцінка
A	5,1458
B	6,8414
C	5,0759

6. Висновки

Дослідження дало змогу припустити, що для створення рекреаційно-туристичного продукту можна використовувати різні види ресурсів просторово-часової геосистеми, зокрема ландшафтні комплекси, компартменти та їх горизонтальну неоднорідність - мозаїчність, фауністичні та флористичні ресурси, об’єкти природо-заповідного фонду, історико-культурні об'єкти, традиції і туристично-рекреаційний спадок регіону, тощо. Водночас для задоволення потреб різних як категорій туристів і рекреантів слід диференціювати використання ресурсів просторово-часової геосистеми у відповідності до виникаючих потреб і вимог споживачів.
Як показала апробація методу комплексної кваліметричної оцінки туристично-рекреаційного потенціалу на прикладі ПЧГ Карпатських гірських лісів, запропонований підхід враховує не тільки просторові особливості території та елементи її потенціалу, але також критерії оцінки, важливі для вирішення організаційно-економічних питань з управління туризмом. Підхід дає можливість поєднувати різні методи оцінки туристичних ресурсів, коригувати критерії і технічні характеристики, вагові коефіцієнти та показники якості.
Системне вирішення проблем, пов’язаних з використання туристично-рекреаційного потенціалу ПЧГ для реалізації культурних екосистемних послуг, потребує удосконалення законодавства у сфері туризму, формування інституційних умов для його сталого розвитку, створення сприятливих умов для роботи малого бізнесу, надання сприяння у підготовці кадрів для туристичної галузі та стимулювання попиту на внутрішній туристичний продукт.

Список літератури

[1] Reid, W. & al., et., 2005. *Millennium Ecosystem Assessment*, WRI: World Resources Institute. Retrieved from https://policycommons.net/artifacts/1360846/millennium-ecosystem-assessment/1974825/ on 27 Nov 2022. CID: 20.500.12592/5qwvp6.
[2] Kremen, C., & Cowling, R. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology?. Ecology Letters,8(5), 2005, 468-479. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x
[3] Farber, S., Costanza, R., Childers, D. L., Erickson, J., Gross, K., Grove, M., & ... Wilson, M. Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management. BioScience, (2). 121, 2006. doi:10.1641/0006-3568(2006)056[0121:leaefe]2.0.co;2.
[4] Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics, 68(3), 2009, 643–653. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.09.014.
[5] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., & ... van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Ecological Economics, 25(1), 3, 1998.
[6] Daily, G. C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. Washington, 1997, DC: Island Press.
[7] Daily, G. C. Developing a Scientific Basis for Managing Earth's Life Support Systems. Conservation Ecology (11955449),3(2), 1999.
[8] Wittmer, H., & Gundimeda, H. (Eds.). The economics of ecosystems and biodiversity. TEEB for local and regional policy makers. (Chapter 7), 2010. London: Earthscan.
[9] Boyd, J., & Banzhaf, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics, 63(2/3), 2007, 616-626. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.01.002
[10] Pankaj Dutta, Anurag Mishra, Sachin Khandelwal, Ibrahim Katthawala, A multiobjective optimization model for sustainable reverse logistics in Indian E-commerce market, Journal of Cleaner Production, Volume 249, 2020, 119348, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119348.
[11] Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., Schmidt, S. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. Journal of Applied Ecology 2011, 48, pp. 630–636.
[12] de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat L., Hein, L., Willemen, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity 7 (2010), 2010, pp. 260–272.
[13] Svetlana Ustugova, Danila Parygin, Natalia Sadovnikova, Alexey Finogeev, Alexey Kizim, Monitoring of Social Reactions to Support Decision Making on Issues of Urban Territory Management, Procedia Computer Science, Volume 101, 2016, P. 243-252, https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.11.029.
[14] Bojko T.G., Ruda M.V., Paslavs'kyj M.M., Sokolov S.O., Petrenko S.V., Skakovs'kyj S.I. Cybernetic nature of complex landscape complexes and supra-optimization of self-recovery and self-preservation mechanisms. Naukovyj visnyk NLTU Ukrai'ny: zbirnyk naukovyh prac'. L'viv, 2019, tom 29, № 5 s. 134–140. https://doi.org/10.15421/40290527 (in Ukrainian)
[15] Ruda M. V., Bubela T. Z. The use of information and measurement systems for the study of the quality of the process of functioning of consortium ecotones of the protective type // Ukrai'ns'kyj metrologichnyj zhurnal. 2018, № 3., S. 55–61. DOI:10.24027/2306-7039.3.2018.153113 (in Ukrainian)

[16] Maglinets, Y.A., Maltsev, E.G. & Tsybulskii, G.M. Multipurpose geoinformation management system of territories along the Yenisei meridian. *Pattern Recognit. Image Anal.* 21, 297–299 (2011). https://doi.org/10.1134/S1054661811020702.
[17] Gleeson, T., Befus, K., Jasechko, S. *et al.* The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature Geosci* **9**, 161–167 (2016). https://doi.org/10.1038/ngeo2590.
[18] C.P.M. Govers, What and how about quality function deployment (QFD), International Journal of Production Economics, Volumes 46–47, 1996, P. 575-585, https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00113-1.
[19] Hrihorenko, I., Drozdova, T., Hrihorenko, S., & Tverytnykova, E. (2019). APPLICATION OF USER INTERFACE FUZZY LOGIC TOOLBOX FOR QUALITY CONTROL OF PRODUCTS AND SERVICES. *Advanced Information Systems*, *3*(4), 118–125. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.18
[20] Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning II, Information Sciences, Volume 8, Issue 4, 1975, P. 301-357, https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90046-8.
[21] Hui Han, Silvana Trimi A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms, Expert Systems with Applications, Volume 103, 2018, 133–145, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.003.
[22] V. I. Biryulin, A. N. Gorlov and D. V. Kudelina, "Fuzzy modeling of efficiency of energy and fuel resource use at regional level," *2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICIEAM.2017.8076225.
[23] Bojko T.G. Formation of theoretical and regulatory and technical bases for evaluating the quality level of products : avtoref. dys. dok-ra. tehn. nauk: 05.01.02 Nacional'nyj universytet "L'vivs'ka politehnika". L'viv, 2010. 34 s. (in Ukrainian)
[24] Thomas L. Saaty and Kevin P. Kearns Analytical Planning The Organization of System, 1985 https://doi.org/10.1016/C2013-0-03782-6.
[25] Opricovic, S., Tzeng, G. H. Defuzzification within a multicriteria decision model, International Journal of Uncertainty. Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 11(5), 2003, 635–652
[26] Kazançoğlu Yiğit, Aksoy Murat. A fuzzy logic-based Quality Function Deployment for selection of e-learning provider / The Turkish Online Journal of Educational Technology – October 2011, volume 10 Issue 4.