

Б. І. Мокін¹
О. Б. Мокін¹
О. О. Войцеховська¹

ПРО ОДИН З ПІДХОДІВ ДО СИСТЕМНОГО ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ УНІВЕРСИТЕТУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО ВАРІАНТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

¹Вінницький національний технічний університет

З використанням методик нечіткої багатокритеріальної оптимізації, викладеної в роботах професора С. Д. Штовби, яка базується на схемі Беллмана–Заде, що побудована з використанням матриці парних порівнянь Сааті та алгоритму концентрації функцій належності, запропонованому Ціммерманом, здійснено пошук варіанта плану оптимального розвитку університету в полі п'яти пріоритетних для закладу вищої освіти критеріїв оптимізації. Один з них характеризує надходження до університету коштів, додаткових до бюджетного фінансування, два інших характеризують, відповідно, наукові досягнення професорсько-викладацького складу та якість впровадження ідеології дуальної освіти в навчальний процес, а ще два характеризують якість навчального процесу в режимах офлайн та онлайн. Запропоновано варіант пріоритетності вибраних критеріїв та на нечіткій множині їх оптимальних значень визначено найкращий варіант плану розвитку університету, який сприятиме стабільному нарощенню з року в рік його іміджу. Показано, що в разі іншої пріоритетності вибраних критеріїв найкращим може виявитись інший варіант розвитку, як інший варіант розвитку університету може виявитись і в разі, якщо до уже запропонованих критеріїв нечіткої оптимізації будуть додані ще якісь додаткові критерії, які характеризуватимуть ще якісь параметри функціонування університету, не враховані при розв'язанні задачі пошуку оптимального плану розвитку університету в полі вибраних критеріїв. Запропонований підхід до системного планування розвитку університету на основі нечіткого варіанта багатокритеріальної оптимізації дозволяє в процесі реалізації синтезованого плану здійснювати його адаптацію в разі досягнення певних проміжних цілей. Для реалізації підходу запропонована програма обчислень на мові Python.

Ключові слова: план розвитку університету, нечітка багатокритеріальна оптимізація, схема Беллмана–Заде, матриці парних порівнянь Сааті, алгоритм концентрації функцій належності Ціммермана.

Вихідні передумови та постановка задачі

Ця стаття підготовлена за матеріалами доповіді на тему: «Нечіткий варіант багатокритеріальної оптимізації в умовах критеріального антагонізму», виголошеної на МНТК ОКЕУ-2021, що проходила на базі Вінницького національного технічного університету у жовтні 2021 року, котра починалась з тези: «Будь-яка динамічна система, у тому числі і електроенергетична система та система вищої освіти, функціонує в умовах антагонізму локальних критеріїв, з використанням яких реалізується досягнення режимів її функціонування, оптимальних або за одним з цих критеріїв при накладенні обмежень на усі інші, або оптимальних на зваженій сумі усіх критеріїв — у першому випадку має місце однокритеріальна оптимізація, а у другому — багатокритеріальна. Приклади однокритеріальної оптимізації режиму функціонування системи вищої освіти наведені в роботах [2]—[5], причому критерієм оптимізації в роботі [2] є вклад в науку колективу університету, в роботі [3] — якість підготовки фахівців в дистанційному режимі навчання, в роботі [4] — кошти, зароблені колективом університету за надання платних послуг, а в роботі [5] — якість практичної підготовки студентів з ідеологією дуальної освіти. Цілком очевидно, що усі ці критерії є антагоні-

стичними, оскільки оптимізація за одним з них виводить інші за межі їх оптимальних значень. В нашій доповіді ми покажемо, як можна реалізувати нечіткий варіант багатокритеріальної оптимізації в умовах критеріального антагонізму, занурюючи кожен з локальних критеріїв в нечітку базу знань, побудовану на множині областей оптимальності кожного з них» [1].

З наведеної цитати легко бачити, що *метою дослідження* є побудова такого системного плану розвитку університету, який сприятиме нарощенню з року в рік іміджу університету як закладу вищої освіти, в якому забезпечується висока якість навчального та наукового процесів, основаних на оптимальному співвідношенні структурних складових, оптимальних за кожним із приведених критеріїв оптимізації.

Будувати системний план розвитку університету будемо, використовуючи методіку нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів, викладену в роботі С. Д. Штовби [6], який, у свою чергу, при викладенні цієї методіки використав схему Беллмана–Заде [7], [8] прийняття рішень в нечітких умовах, що базується на матрицях парних порівнянь Сааті [9], та алгоритм врахування критеріальних пріоритетів Ціммермана [10], а також результати своїх попередніх наукових праць цього спрямування, зокрема й виконаних у співавторстві з професором А. П. Ротштейном. Але на відміну від професора С. Д. Штовби, який продемонстрував реалізацію процедури Беллмана–Заде на прикладах побудови планів розвитку об'єктів абстрактного характеру, ми у цій статті таку процедуру застосовуємо до конкретного об'єкта — університету з його специфічними умовами функціонування. А друга відмінність нашої публікації полягає у тому, що професор С. Д. Штовба для здійснення конкретних числових розрахунків використовував ППП MATLAB, а ми будемо використовувати для розрахунків аналогічного характеру ППП Anaconda [11], створений на основі мови програмування Python, доступ до програм якого на відміну від ППП MATLAB є безкоштовним, а освоєння процесу використання цих програм можна здійснити, скориставшись, наприклад, навчальним посібником [12].

Завершимо викладення вихідних передумов нашого дослідження інформацією про те, що до складу групи експертів, які здійснювали попарні порівняння варіантів для реалізації нашого системного плану розвитку університету, увійшли три професори, два аспіранти і один студент, який навчався за програмою магістерської підготовки і який здійснював порівняння варіантів напередодні отримання диплому магістра.

Викладення основних результатів

Почнемо викладення матеріалу нашого дослідження з формування варіантів системного плану оптимального у сенсі розвитку університету та формулювання критеріїв переваги одного з варіантів над іншими. Позначимо варіанти плану розвитку університету, як V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 . Нехай критеріями будуть: K_1 — критерій, який характеризує надходження до університету коштів від надання платних послуг населенню, основною складовою яких є навчання студентів за оплачуваними ними контрактами; K_2 — критерій, який характеризує наукові досягнення професорсько-викладацького складу університету; K_3 — критерій, який характеризує якість навчального процесу в університеті за умови його організації за класичною схемою, тобто в офлайн-режимі; K_4 — критерій, який характеризує якість навчального процесу за умови його організації з використанням дистанційної форми, тобто в онлайн-режимі; K_5 — критерій, який характеризує якість підготовки фахівців з вищою освітою в університеті з використанням ідеології дуальної освіти, тобто шляхом інтеграції навчання з виробництвом.

Зупинимось детальніше на перевагах і недоліках варіантів розвитку університету за цими критеріями.

Отже, якщо домінантним для якогось варіанта розвитку університету є критерій K_1 , то перевагою від реалізації цього варіанта є поява в університеті додаткових до виділених з бюджету коштів, а недоліком є поява серед студентів значної кількості таких, що не мають достатніх базових знань, за відсутності яких неможливо забезпечити високу якість навчального процесу. А якщо домінантним є критерій K_2 , то перевагою від реалізації цього варіанта є поява в університеті додаткових коштів від реалізації проривних у науковому плані результатів досліджень, зростання наукової складової іміджу та забезпечення викладацькими кадрами такого рівня кваліфікації, який університет зобов'язаний мати за умовами акредитації спеціальностей, а недоліком є повільний темп реалізації, що може розтягнутись на десятки років. Для варіанта, домінантним для якого є критерій K_3 , перевагою від реалізації є забезпечення викладання навчальних дисциплін в універси-

теті викладачами, здатними адекватно доносити до студентів необхідні знання і оцінювати знання студентів без протекційних та корупційних складових, а також нормативне забезпечення навчальних лабораторій сучасним для кожної навчальної дисципліни лабораторним обладнанням, недоліком же цього варіанта є високий процент відрахувань студентів, які не відповідають вимогам, особливо із середовища контрактників, і, як наслідок, поява значної кількості малокомплектних груп та зменшення надходжень від надання платних послуг населенню, що тягне за собою неухильне скорочення професорсько-викладацького складу університету. А для варіанта, домінантним для якого є критерій K_4 , перевагою від реалізації є забезпечення університетом навчального процесу задовільної якості в умовах будь-якої нештатної ситуації, що виникла, наприклад, в результаті оголошення локдауну у зв'язку з епідемією якоїсь хвороби, а недоліком є втрата безпосереднього контакту викладачів зі студентами, що особливо негативно впливає на якість лабораторного практикуму та сприяє появі непідтверджених відповідними знаннями високих оцінок у студентів, а у кінцевому результаті приводить до появи серед випускників університету значної кількості псевдофахівців, не здатних працювати на посадах, що вимагають високого рівня професійних знань. Ну і нарешті для варіанта розвитку університету, домінантним для якого є критерій K_5 , перевагою від реалізації є забезпечення університетом своїх випускників високим рівнем практичної підготовки, завдяки чому суттєво розширюється база їх працевлаштування після закінчення університету та зменшуються затрати часу і зусиль на адаптацію до умов виконання функціональних обов'язків на підприємстві, яке взяло випускника на роботу, а недоліком є зменшення навчальних годин на теоретичну підготовку по кожній з навчальних дисциплін, що проявляється в недостатній готовності до науково-дослідної роботи при бажанні присвятити їй себе після закінчення університету, а також в масових пропусках занять студентами старших курсів, які ще до закінчення університету завдяки високому рівню практичної підготовки уже працевлаштувались на місця роботи, де достатньо лише наявності відповідного рівня робітничої кваліфікації.

Отже побудова варіанта системного розвитку університету в полі цих п'яти критеріїв є задачею багатокритеріальної оптимізації на множині антагоністичних критеріїв, для розв'язання якої цілком логічно застосувати схему Беллмана–Заде. Для її реалізації розглянемо п'ять варіантів системного плану розвитку університету в полі п'яти охарактеризованих вище критеріїв з поки що невідомими нам їхніми співвідношеннями, але за умови, що в кожному варіанті є складова, яку можна оптимізувати за одним з цих критеріїв.

Створена нами експертна група, до складу якої увійшли всі співавтори цієї статті, для наших варіантів B_1 — B_5 за критерієм K_1 згенерувала матрицю Сааті парних порівнянь, позначену $A1$, у такому вигляді:

$$A1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & 1 \\ \frac{1}{3} & 1 & 6 & 4 & 3 \\ 5 & \frac{1}{6} & 1 & 9 & 2 \\ 7 & \frac{1}{4} & \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{5} \\ 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 5 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

За схемою Беллмана–Заде для того, щоб синтезувати нечітку множину \tilde{K}_1 , якою визначається належність критерію K_1 як лінгвістичної змінної до кожного з варіантів B_1 — B_5 у вигляді

$$\tilde{K}_1 = \left\{ \frac{w_{11}(h_{1\max})}{B_1}, \frac{w_{12}(h_{1\max})}{B_2}, \frac{w_{13}(h_{1\max})}{B_3}, \frac{w_{14}(h_{1\max})}{B_4}, \frac{w_{15}(h_{1\max})}{B_5} \right\}, \quad (2)$$

де $h_{1\max}$ — максимальне дійсне власне число матриці $A1$, а $w_{1\max}$ — власний вектор цієї матриці $A1$, який породжується її власним числом $h_{1\max}$

$$w_{1\max} = \begin{cases} w_{11}(h_{1\max}) \\ w_{12}(h_{1\max}) \\ w_{13}(h_{1\max}) \\ w_{14}(h_{1\max}) \\ w_{15}(h_{1\max}) \end{cases}; \quad (3)$$

$w_{1\max}$ нормований на відрізку $[0,1]$ значень функції належності $\mu(K_1)$ лінгвістичної змінної K_1 співвідношенням

$$w_{11}(h_{1\max}) + w_{12}(h_{1\max}) + w_{13}(h_{1\max}) + w_{14}(h_{1\max}) + w_{15}(h_{1\max}) = 1. \quad (4)$$

Необхідно спочатку визначити для цієї матриці усі її власні числа та власні вектори, відповідно, $h_{11} - h_{15}$, $w_{11} - w_{15}$, тобто ненульові числа та вектори, які задовольняють матричне рівняння

$$[A1 - h_1 I] w_1 = 0, \quad (5)$$

де I — одинична діагональна матриця тієї ж розмірності, що й матриця $A1$, потім з множини знайдених власних чисел виокремити власне число, яке є найбільшим дійсним числом, та виокремити власний вектор, породжений цим найбільшим дійсним власним числом, проєкції якого унормувати на одиничному відрізку дійсної осі, скориставшись рівнянням (4).

Для реалізації викладеної вище процедури використаємо комп'ютерну програму, написану нами на мові Python.

```
In [1] import numpy as np
In [2] import scipy.linalg as la
In [3] A1=np.array([[1,3,1/5,1/7,1],[1/3,1,6,4,3],[5,1/6,1,9,2],\
    [7,1/4,1/9,1,1/5],[1,1/3,1/2,5,1]])
In [4] h,w=la.eig(A1)
In [5] h,w
Out[5]:
(array([ 9.22477472+0.j      , -0.40811601+5.95562656j,
    -0.40811601-5.95562656j, -3.23729251+0.j      ,
    -0.1712502 +0.j      ]),
array([[ 0.29308481+0.j      , -0.0205551 -0.33653518j,
    -0.0205551 +0.33653518j,  0.27506091+0.j      ,
    0.01676351+0.j      ],
 [ 0.66232265+0.j      ,  0.65690014+0.j      ,
    0.65690014-0.j      , -0.55095466+0.j      ,
    -0.2799232 +0.j      ],
 [ 0.56767403+0.j      ,  0.0332377 +0.49878881j,
    0.0332377 -0.49878881j,  0.4458192 +0.j      ,
    -0.28534327+0.j      ],
 [ 0.28379519+0.j      , -0.35985256+0.07744365j,
    -0.35985256-0.07744365j, -0.45544964+0.j      ,
    -0.16723841+0.j      ],
 [ 0.26951158+0.j      ,  0.10728138+0.24064096j,
    0.10728138-0.24064096j,  0.46325082+0.j      ,
    0.90109518+0.j      ]]))
In [6] h.max( )
Out[6]: (9.224774723558255+0j)
In [7] i=h.argmax( ); i
Out[7]: 0
In [8] w1=w[:,i];w1
Out[8]:
array([0.29308481+0.j, 0.66232265+0.j, 0.56767403+0.j, 0.28379519+0.j,
    0.26951158+0.j])
In [9] nw1=la.norm(w1); nw1
```

```

Out[9]: 1.0
In [10] w1.sum( )
Out[10]:
(2.0763882517367844+0j)
In [11] nw1=w1.sum( )
In [12] w1max=w1/nw1;w1max
Out[12]:
array([0.14115125+0.j, 0.31897823+0.j, 0.27339493+0.j, 0.13667732+0.j,
       0.12979826+0.j])
In [13] w1maxo=w1max.round(4); w1maxo
Out[13]:
array([0.1412+0.j, 0.319 +0.j, 0.2734+0.j, 0.1367+0.j, 0.1298+0.j])

```

Командою In [12] цієї програми і визначається належність критерію K_1 як лінгвістичної змінної до кожного з варіантів B_1 — B_5 , а командою In [13] ми лише залишаємо в кожному числовому значенні належності по чотири знаки після коми. Підставляючи ці значення на відповідні місця у вираз (2), отримаємо конкретизовану нечітку множину \tilde{K}_1 , якою визначається належність критерію K_1 як лінгвістичної змінної до кожного з варіантів B_1 — B_5 у вигляді

$$\tilde{K}_1 = \left\{ \frac{0,1412}{B_1}, \frac{0,3190}{B_2}, \frac{0,2734}{B_3}, \frac{0,1367}{B_4}, \frac{0,1298}{B_5} \right\}. \quad (6)$$

Та ж сама експертна група для тих же варіантів B_1 — B_5 згенерувала матриці Сааті парних порівнянь, позначені A_i , $i = 2, 3, 4$, і за іншими критеріями з аналогічними номерами

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 9 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 & 5 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 & 3 & 2 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & 3 \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}; \quad A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 5 & 4 & 4 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}; \\
A_4 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{7} & 1 & 1 \\ 2 & 1 & \frac{1}{7} & 1 & 1 \\ 7 & 7 & 1 & \frac{1}{3} & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_5 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & 2 & \frac{1}{7} & 1 \\ 5 & 1 & 1 & \frac{1}{4} & 1 \\ \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{3} & 2 \\ 7 & 4 & 3 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}.$$

За тією ж схемою Беллмана–Заде, апробованою вище в процесі синтезу нечіткої множини \tilde{K}_1 , якою визначається належність критерію K_1 як лінгвістичної змінної до кожного з варіантів B_1 — B_5 , з використанням тієї ж програми, записаної на мові Python і приведеної вище, авторами отримані нечіткі множини \tilde{K}_i , $i = 2, 3, 4, 5$, якими визначається належність і цих критеріїв як лінгвістичних змінних до кожного з варіантів B_1 — B_5 у вигляді:

$$\tilde{K}_2 = \left\{ \frac{0,5285}{B_1}, \frac{0,2211}{B_2}, \frac{0,1257}{B_3}, \frac{0,0735}{B_4}, \frac{0,0512}{B_5} \right\}; \quad (7)$$

$$\tilde{K}_3 = \left\{ \frac{0,4070}{B_1}, \frac{0,3118}{B_2}, \frac{0,1028}{B_3}, \frac{0,1057}{B_4}, \frac{0,0727}{B_5} \right\}; \quad (8)$$

$$\tilde{K}_4 = \left\{ \frac{0,0995}{B_1}, \frac{0,1255}{B_2}, \frac{0,3671}{B_3}, \frac{0,2773}{B_4}, \frac{0,1305}{B_5} \right\}; \quad (9)$$

$$\tilde{K}_5 = \left\{ \frac{0,1024}{B_1}, \frac{0,1868}{B_2}, \frac{0,1317}{B_3}, \frac{0,4694}{B_4}, \frac{0,1097}{B_5} \right\}. \quad (10)$$

Нечіткі множини, задані виразами (6)—(10), побудовані за умови, що усі критерії є рівнозначними, але в дійсності для побудови конкретних планів розвитку університету кожен з критеріїв \tilde{K}_i , $i = 2, 3, 4, 5$, має свою вагу α_i , яка для кожного з них може змінюватись за побажанням замовника плану розвитку університету, але повинна залишатись нормованою в межах відрізка $[0, 1]$, тобто у нашому випадку повинна задовольняти рівність

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 = 1. \quad (11)$$

У випадку нерівнозначності критеріїв α_i Ціммерман запропонував міру $\mu_{K_i}^*(B_j)$ належності критерію K_i до варіанта B_j обчислювати з урахуванням його ваги, яка задає ступінь концентрації, у вигляді

$$\mu_{K_i}^*(B_j) = (\mu_{K_i}(B_j))^{\alpha_i}, \quad (12)$$

а числові значення самих ваг кожного з критеріїв визначати з використанням матриці Сааті парних порівнянь між собою цих критеріїв. Наша експертна група для введених вище критеріїв, розмістивши їх у порядку зменшення ваги у вигляді послідовності

$$K_3, K_2, K_5, K_4, K_1, \quad (13)$$

синтезувала для них матрицю парних порівнянь Сааті у вигляді

$$K = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 7 & 1 & \frac{1}{3} & 5 & 3 \\ 9 & 3 & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} \\ 3 & \frac{1}{5} & 7 & 1 & \frac{1}{3} \\ 5 & \frac{1}{3} & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

За тією ж схемою Беллмана–Заде, використовуючи матрицю K , для критеріальної нечіткої множини \tilde{K} , отримаємо вираз, аналогічний виразу (2), але у вигляді

$$\tilde{K} = \left\{ \frac{\alpha_1}{K_1}, \frac{\alpha_2}{K_2}, \frac{\alpha_3}{K_3}, \frac{\alpha_4}{K_4}, \frac{\alpha_5}{K_5} \right\}, \quad (14)$$

конкретизація якого з використанням тієї самої програми, записаної на мові Python, приводить до виразу

$$\tilde{K} = \left\{ \frac{0,03}{K_1}, \frac{0,31}{K_2}, \frac{0,18}{K_3}, \frac{0,22}{K_4}, \frac{0,26}{K_5} \right\}. \quad (15)$$

З урахуванням виразів (12) і (15) вирази (6)—(10) набувають вигляду:

$$\tilde{K}_{1\alpha_1} = \left\{ \frac{0,94}{B_1}, \frac{0,96}{B_2}, \frac{0,96}{B_3}, \frac{0,94}{B_4}, \frac{0,94}{B_5} \right\}; \quad (16)$$

$$\tilde{K}_{2\alpha_2} = \left\{ \frac{0,82}{B_1}, \frac{0,63}{B_2}, \frac{0,53}{B_3}, \frac{0,45}{B_4}, \frac{0,40}{B_5} \right\}; \quad (17)$$

$$\tilde{K}_{3\alpha_3} = \left\{ \frac{0,85}{B_1}, \frac{0,81}{B_2}, \frac{0,66}{B_3}, \frac{0,67}{B_4}, \frac{0,62}{B_5} \right\}; \quad (18)$$

$$\tilde{K}_{4\alpha_4} = \left\{ \frac{0,60}{B_1}, \frac{0,63}{B_2}, \frac{0,80}{B_3}, \frac{0,75}{B_4}, \frac{0,64}{B_5} \right\}; \quad (19)$$

$$\tilde{K}_{5\alpha_5} = \left\{ \frac{0,55}{B_1}, \frac{0,65}{B_2}, \frac{0,59}{B_3}, \frac{0,82}{B_4}, \frac{0,56}{B_5} \right\}. \quad (20)$$

Згідно з алгоритмом Ціммермана, який є складовою частиною методики, викладеної С. Д. Штобю, при багатокритеріальній оптимізації брати за найкращий (НВ) потрібно той варіант, який є найкращим одночасно за усіма критеріями, для чого потрібно спочатку знайти перетин (ПК) нечітких критеріальних множин, визначених виразами (16)—(20) у вигляді

$$ПК = \bar{K}_{1\alpha_1} \cap \bar{K}_{2\alpha_2} \cap \bar{K}_{3\alpha_3} \cap \bar{K}_{4\alpha_4} \cap \bar{K}_{5\alpha_5}, \quad (21)$$

а потім, згадавши про те, що перетин для кожного варіанта визначається мінімальним значенням функції належності, підставляючи у вираз (21) вирази (16)—(20), отримати конкретизоване значення цього перетину у вигляді

$$ПК = \left\{ \frac{0,55}{B_1}, \frac{0,63}{B_2}, \frac{0,53}{B_3}, \frac{0,45}{B_4}, \frac{0,40}{B_5} \right\}. \quad (22)$$

З виразу (22) випливає, що найкращим варіантом розвитку університету в полі вибраних критеріїв з пріоритетністю, заданою послідовністю (13), є варіант B_2 , який характеризується найвищим значенням функції належності до нечіткої множини оптимальних рішень, для якого домінантним був критерій K_2 , що характеризує наукові досягнення професорсько-викладацького складу університету. Цілком зрозуміло, що в разі іншої пріоритетності вибраних критеріїв найкращим може виявитись інший варіант розвитку, як іншим варіант розвитку університету може виявитись і в разі, якщо до уже запропонованих нами критеріїв нечіткої оптимізації будуть додані ще якісь додаткові критерії, які характеризуватимуть ще якісь параметри функціонування університету, не враховані нами при розв'язанні задачі пошуку оптимального плану розвитку університету в полі вибраних нами критеріїв.

Висновки

З використанням методики нечіткої багатокритеріальної оптимізації, викладеної в роботах професора С. Д. Штобю, яка базується на схемі Беллмана–Заде, побудованої з використанням матриці парних порівнянь Сааті та алгоритму концентрації функцій належності, запропонованому Ціммерманом, здійснено пошук варіанта плану оптимального розвитку університету в полі п'яти пріоритетних для закладу вищої освіти критеріїв оптимізації, один з яких характеризує надходження до університету коштів, додаткових до бюджетного фінансування, два інших характеризують відповідно наукові досягнення професорсько-викладацького складу та якість впровадження ідеології дуальної освіти в навчальний процес, а ще два характеризують якість навчального процесу в режимах офлайн та онлайн.

Запропоновано варіант пріоритетності вибраних критеріїв та на нечіткій множині їх оптимальних значень визначено найкращий варіант плану розвитку університету, який сприятиме стабільному нарощенню з року в рік його іміджу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, і О. О. Войцеховська, «Нечіткий варіант багатокритеріальної оптимізації в умовах критеріального антагонізму,» на V Міжнародній науково-технічній конференції «Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ 2021)», тези доповідей, Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/okeu/okeu2021/paper/viewFile/13807/11686>.

- [2] Б. І. Мокін, і Ю. В. Мокіна, *Математичні моделі в системах управління діяльності професорсько-викладацького складу вищих навчальних закладів*, моногр. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2008, 132 с.
- [3] О. Б. Слободянюк, В. Б. Мокін, і Б. І. Мокін, *Формування вмінь студентів з інженерії і комп'ютерної графіки в умовах дистанційного навчання*, моногр. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, 208 с.
- [4] Н. С. Гончарук, Ю. В. Мокіна, і Б. І. Мокін, *Математичні моделі для прогнозування та управління процесами надходження грошових коштів від платних послуг вищих навчальних закладів*, моногр. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2015, 180 с.
- [5] Б. І. Мокін, О. Б., Мокін, і О. М. Косарук, *Ідеологія дуальності в вищій технічній освіті на основі інтеграції навчання з виробництвом*, моногр. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2019, 224 с.
- [6] С. Д. Штовба, *Проектирование нечетких систем средствами MATLAB*. Москва, РФ: Горячая линия-Телеком, 2007, 288 с.
- [7] R. E. Bellman, and L. A. Zadeh, «Decision-Making in Fuzzy Environment,» *Management Science*, № 4, vol. 17, pp. 141-160, 1970.
- [8] Р. Беллман, и Л. Заде, «Принятие решений в расплывчатых условиях,» *В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений*. Москва: Мир, 1976, с. 172-215.
- [9] Т. Л. Саати, «Взаимодействие в иерархических системах,» *Техническая кибернетика*, № 1, с. 68-84, 1979.
- [10] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and its Applications*. 3rd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996, 315 p.
- [11] *Python*. [Electronic resource]. Available: <https://www.python.org/downloads/>.
- [12] П. Г. Доля, *Введение в научный Python*. Харків: ХНУ ім. Каразіна, 2016, 265 с.

Рекомендована кафедрою системного аналізу та інформаційних технологій ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.07.2021

Мокін Борис Іванович — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, e-mail borys.mokin@gmail.com ;

Мокін Олександр Борисович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail abmokin@gmail.com ;

Войцеховська Ольга Олександрівна — аспірантка кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, e-mail: olgav1085@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

B. I. Mokin¹
O. B. Mokin¹
O. O. Voitsekhovska¹

On One of the Approaches to System Planning of University Development on a Basis of the Fuzzy Multicriteria Optimization

¹Vinnitsia National Technical University

Using the method of fuzzy multicriteria optimization, set out in the works of professor S. D. Shtovba, based on the Bellman-Zade scheme, built using the matrix of pairwise comparisons Saati and the algorithm for concentrating membership functions, proposed by Zimmerman, searched for a variant of the plan of optimal development of the university in field of five priority optimization criteria, one of which characterizes the receipt of funds to the university, additional to budget funding, the other two characterize the scientific achievements of faculty and the quality of implementation of the ideology of dual education in the educational process, and two characterize the quality of the educational process offline and online. The variant of priority of the selected criteria is offered and on the fuzzy set of their optimum values the best variant of the plan of development of university which will promote stable increase from year to year of its image is defined. It is shown that in case of another priority of the selected criteria the best may be another development option, as another option of university development may be if the already proposed criteria of fuzzy optimization will be added some additional criteria that will characterize some other parameters of the university, are not taken into account when solving the problem of finding the optimal plan for the development of the university in the field of selected criteria. The proposed approach to the systematic planning of university development on the basis of a fuzzy version of multicriteria optimization allows in the process of implementing the synthesized plan to adapt it in case of achievement of certain intermediate goals. To implement the approach, a Python computing program is proposed.

Keywords: university development plan, fuzzy multicriteria optimization, Bellman–Zade scheme, Saati pairwise matrix matrices, Zimmerman membership concentration algorithm.

Mokin Borys I. — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, Professor of the Chair of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, e-mail: borys.mokin@gmail.com ;

Mokin Oleksandr B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: abmokin@gmail.com ;

Voitsekhovska Olha O. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: olgav1085@gmail.com

Б. И. Мокин¹
А. Б. Мокин¹
О. А. Войцеховская¹

Об одном из подходов к системному планированию развития университета на основе нечеткого варианта многокритериальной оптимизации

¹Винницкий национальный технический университет

С использованием методики нечеткой многокритериальной оптимизации, изложенной в работах профессора С. Д. Штовбы, основанная на схеме Беллмана–Заде, построенная с использованием матрицы парных сравнений Саати и алгоритма концентрации функций принадлежности Циммермана, осуществлен поиск варианта плана оптимального развития университета в поле пяти приоритетных для учреждения высшего образования критериев оптимизации. Один из них характеризует поступления в университет средств, дополнительных к бюджетному финансированию, два других характеризуют соответственно научные достижения профессорско-преподавательского состава и качество внедрения идеологии дуальной образования в учебный процесс, а еще два характеризует качество учебного процесса в режимах оффлайн и онлайн. Предложен вариант приоритетности выбранных критериев и на нечетком множестве их оптимальных значений определен лучший вариант плана развития университета, который будет способствовать стабильному наращиванию из года в год его имиджа. Показано, что в случае другой приоритетности выбранных критериев лучшим может оказаться другой вариант развития. Другим вариант развития университета может оказаться и в случае, если к уже предложенным критериям нечеткой оптимизации будут добавлены еще какие-то дополнительные критерии, которые будут характеризовать еще какие-то параметры функционирования университета, не учтенные при решении задачи поиска оптимального плана развития университета в поле выбранных критериев. Предложенный подход к системному планированию развития университета на основе нечеткого варианта многокритериальной оптимизации позволяет в процессе реализации синтезированного плана осуществлять его адаптацию в случае достижения определенных промежуточных целей. Для реализации подхода предложена программа вычислений на языке Python.

Ключевые слова: план развития университета, нечеткая многокритериальная оптимизация, схема Беллмана–Заде, матрицы парных сравнений Саати, алгоритм концентрации функций принадлежности Циммермана.

Мокин Борис Иванович — академик НАПН Украины, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий, профессор кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте, e-mail: bogys.mokin@gmail.com ;

Мокин Александр Борисович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий, e-mail: abmokin@gmail.com ;

Войцеховская Ольга Александровна — аспирант кафедры системного анализа и информационных технологий, e-mail: olgav1085@gmail.com