

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет
імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра інтелектуальних інформаційних систем

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри інтелектуальних
інформаційних систем, д-р техн. наук, проф.
_____Ю. П. Кондратенко
«___»_____202_р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІЙНОГО
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ FUZZY MARCOS ПРИ
ФОРМУВАННІ РЕЙТИНГУ УНІВЕРСИТЕТІВ

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

122 – МКР – 601.21610206

Студент _____ А. І. Грохольська
«___» _____ 2022 р.

Консультант _____ Є. В. Сіденко
канд. техн. наук, доцент
«___» _____ 2022 р.

Миколаїв – 2022

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра інтелектуальних інформаційних систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень **магістр**

Галузь знань **12 «Інформаційні технології»**

(шифр і назва)

Спеціальність **122 «Комп'ютерні науки»**

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інтелектуальних
інформаційних систем, д-р техн. наук, проф.

_____ Ю. П. Кондратенко

«___» _____ 20__р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Грохольської Анастасії Ігорівни

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Дослідження методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS при формуванні рейтингу університетів».

Керівник роботи Сіденко Євген Вікторович, канд. техн. наук, доцент.

Затв. наказом Ректора ЧНУ ім. Петра Могили від «___» ____ 20__р. № _____

2. Строк подання студентом роботи «___» ____ 20__р.

3. Вхідні (початкові) дані до роботи: експертні оцінки університетів за визначеними критеріями.

Очікуваний результат роботи: система рейтингування університетів з використанням методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розглянути):

- огляд існуючих рейтингів університетів;
- огляд методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS та його параметрів;
- експертне оцінювання обраних університетів за визначеними критеріями;

- порівняльний аналіз результатів застосування різних параметрів методу Fuzzy MARCOS;
- програмна реалізація системи для побудови рейтингу університетів.

5. Перелік графічних матеріалів: презентація.

6. Завдання до спеціальної частини:

Врахування вимог охорони праці та безпеки в умовах надзвичайних ситуаціях при роботі у віддаленому режимі.

7. Консультанти:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис
Спеціальна частина з охорони праці	Щербак Ю.Г. канд. техн. наук, доцент	
Методична частина	Сіденко Є.В канд. техн. наук, доцент	

Керівник роботи канд. техн. наук, доцент Сіденко Є.В.
(наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання Грохольська А.І.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Дата видачі завдання «25» жовтня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Тема: «Дослідження методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS при формуванні рейтингу університетів»

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Визначення керівника і теми МКР. Подання заяви на затвердження теми МКР	01.09.2021	10.10.2021	
2	Отримання завдання на виконання МКР	19.10.2021	22.10.2021	
3	Складання календарного плану на період виконання МКР	23.10.2021	26.10.2021	
4	Огляд літератури за темою дослідження	27.10.2021	10.11.2021	
5	Проходження переддипломної практики, збір та аналіз матеріалів до МКР	22.11.2021	11.12.2021	
6	Аналіз предметної області та розробка технічного завдання. Моделювання результатів	16.12.2021	12.01.2022	
7	Опис фахової частини МКР, зокрема підбір доступних критеріїв, альтернатив та формування матриці, огляд методу Fuzzy MARCOS для вирішення поставленої задачі, реалізація та аналіз отриманих результатів	13.01.2022	25.01.2022	
8	Розробка спеціальної частини з охорони праці та методичної частини	26.01.2022	30.01.2022	
9	Попередній захист МКР на засіданні комісії кафедри	31.01.2022	31.01.2022	
10	Корегування роботи за результатами попереднього захисту	01.02.2022	03.02.2022	
11	Остаточне оформлення пояснювальної записки та слайдів доповіді для захисту	04.02.2022	06.02.2022	
12	Подання МКР рецензенту	09.02.2022	10.02.2022	
13	Рецензування МКР	11.02.2022	12.02.2022	
14	Подання МКР, її електронної копії та інших документів (відгуку, рецензії) до захисту	14.02.2022	15.02.2022	
15	Захист МКР перед екзаменаційною комісією (ЕК)	21.02.2022	22.02.2022	

Розробив студент Грохольська А.І.

_____ (підпис)

Керівник роботи канд. техн. наук, доцент Сіденко Є.В.

(наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

«___» _____ 202__ р.

АНОТАЦІЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
студентки групи 601 ЧНУ ім. Петра Могили

Грохольської Анастасії Ігорівни

на тему: “ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІЙНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ FUZZY MARCOS ПРИ ФОРМУВАННІ РЕЙТИНГУ УНІВЕРСИТЕТІВ”

Актуальність даного дослідження полягає у необхідності розробки програмного забезпечення для ефективного прийняття рішень студентами щодо вибору університету в умовах багатокритерійності та варіантності альтернативних рішень.

Об’єктом дослідження є процес формування рейтингу університетів.

Предметом дослідження є метод багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS та його параметри для формування рейтингу університетів.

Метою роботи є дослідження методу Fuzzy MARCOS та впливу його параметрів на результат прийняття рішень при формуванні рейтингу університетів.

В результаті виконання роботи було досліджено метод Fuzzy MARCOS, проаналізовано вплив його параметрів на результат рейтингування, а також розроблено програмне забезпечення, в якому реалізовані відповідний метод та можливість вибору параметрів.

Дана робота складається з шести розділів. Кожен розділ відповідно присвячений: аналізу предметної області, математичним моделям і методам, використаним у магістерській роботі, моделюванню і дослідженню параметрів методу, опису програмної реалізації, методичній частині магістерської роботи, охороні праці. Загальний обсяг роботи – 131 сторінка. Магістерська кваліфікаційна робота містить два додатки, 19 рисунків, 41 таблицю і посилання на 42 літературних джерела.

Ключові слова: Fuzzy MARCOS, рейтинг університетів, методи нормалізації, методи визначення ваг критеріїв, методи дефазифікації, фазифікація.

ABSTRACT

to the master's qualification work by the student of the group 601 of Petro Mohyla
Black Sea National University

Hrokholska Anastasiia

“ RESEARCH OF THE MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHOD FUZZY MARCOS IN THE FORMATION OF THE UNIVERSITY RANKING”

A relevance of this study lies in the need to develop a software for students' effective decision-making on choosing a university under the circumstances of multicriteria and variability of alternative solutions.

An object of research is the process of forming university ranking.

A subject of the research is the multicriteria decision making method Fuzzy MARCOS and its parameters for the formation of university ranking.

A purpose of the research is study of the Fuzzy MARCOS method and the influence of its parameters on the outcome of decision-making in the formation of the university ranking.

As a result of the work, the Fuzzy MARCOS method and an influence of its parameters on the rating result were examined, and the software was developed, in which the corresponding method and the option to choose the parameters were implemented.

This work consists of six sections. Each of them is devoted to: analysis of the subject area, mathematical models and methods used in the thesis, modeling and research of method parameters, description of software implementation, methodological part of the master's work, labor protection and life safety.

The overall scope of the work is 131 pages. Thesis contains 2 applications, 19 figures, 41 tables and 42 sources in it.

Key words: Fuzzy MARCOS, university ranking, normalization methods, methods for determining the weights of criteria, defuzzification methods, fuzzification.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	7
1.1 Опис предметної сфери формування рейтингу університетів.....	7
1.1.1 Загальна інформація	7
1.1.2 Times Higher Education World University Rankings	7
1.1.3 The Academic Ranking of World Universities	8
1.1.4 Quacquarelli Symonds World University Rankings	10
1.1.5 Center for World University Rankings	11
1.2 Огляд та аналіз наявних публікацій	12
1.3 Постановка задачі.....	16
Висновки до розділу 1	21
2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, МЕТОДИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ РЕЙТИНГУ УНІВЕРСИТЕТІВ	22
2.1 Трикутні нечіткі числа.....	22
2.2 Метод багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS.....	23
2.3 Об’єктивні методи визначення ваг критеріїв	27
2.3.1 Стандартне відхилення	27
2.3.2 Статистична дисперсія.....	27
2.3.3 Ентропія.....	28
2.3.4 CRITIC	29
2.3.5 MEREC	30

2.4 Методи нормалізації.....	31
2.5 Метод фазифікації	33
2.6 Методи дефазифікації	34
Висновки до розділу 2.....	35
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ..	36
3.1 Фазифікація початкових даних	36
3.2 Дослідження нормалізації в методах визначення ваг критеріїв.....	39
3.3 Дослідження дефазифікації у методі Fuzzy MARCOS.....	45
3.4 Побудова рейтингу університетів з використанням методу Fuzzy MARCOS	49
Висновки до розділу 3.....	55
4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ	56
4.1 Вибір програмного забезпечення та інтерфейс користувача.....	56
4.2 Робота застосунку.....	63
Висновки до розділу 4.....	72
5 МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА.....	74
6 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	92
ВИСНОВКИ.....	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105
ДОДАТОК А Функція побудови початкової матриці та блоку вибору параметрів	110
ДОДАТОК Б Функція побудови фінальних матриць.....	115

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗВО	– заклад вищої освіти
ПК	– персональний комп'ютер
ARWU	– Academic Ranking of World Universities
CRITIC	– CRiteria Importance Through Inter-criteria Correlation
MARCOS	– Measurement Alternatives and Ranking according to the COmpromise Solution
MEREC	– MEthod based on the Removal Effects of Criteria
QS	– Quacquarelli Symonds
THE	– Times Higher Education
WPF	– Windows Presentation Foundation

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІЙНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ FUZZY MARCOS ПРИ ФОРМУВАННІ РЕЙТИНГУ УНІВЕРСИТЕТІВ»

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

122 – МКР – 601.21610206

Студент _____ А. І. Грохольська
«__» _____ 20__ р.

Консультант _____ Є. В. Сіденко
канд. техн. наук, доцент
«__» _____ 20__ р.

Миколаїв – 2022

ВСТУП

З тисячами університетів по всьому світу, майбутні студенти стикаються зі складним та важливим для забезпечення їх майбутнього вибором.

Різні системи рейтингування університетів мають специфічні методології, що можуть не відповідати власним пріоритетам конкретної особи. Оскільки немає міжнародного стандарту щодо того, які критерії повинні входити до рейтингу, ніщо не заважає компаніям адаптувати свої критерії для задоволення власних комерційних потреб.

Актуальність даного дослідження полягає у необхідності розробки програмного забезпечення для ефективного прийняття рішень студентами щодо вибору університету в умовах багатокритерійності та варіантності альтернативних рішень.

Об'єктом дослідження є процес формування рейтингу університетів.

Предметом дослідження є метод багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS та його параметри для формування рейтингу університетів.

Метою роботи є дослідження методу Fuzzy MARCOS та впливу його параметрів на результат прийняття рішень при формуванні рейтингу університетів.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1) огляд існуючих рейтингів університетів;
- 2) огляд методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS та його параметрів;
- 3) експертне оцінювання обраних університетів за визначеними критеріями;
- 4) порівняльний аналіз результатів застосування різних параметрів методу Fuzzy MARCOS;
- 5) програмна реалізація системи для формування рейтингу університетів.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Опис предметної сфери формування рейтингу університетів

1.1.1 Загальна інформація

Заклад вищої освіти — окремий вид установи, яка є юридичною особою приватного або публічного права, діє згідно з виданою ліцензією на провадження освітньої діяльності на певних рівнях вищої освіти, проводить наукову, науково-технічну, інноваційну та/або методичну діяльність, забезпечує організацію освітнього процесу і здобуття особами вищої освіти, післядипломної освіти з урахуванням їхніх покликань, інтересів і здібностей [1].

Журнали, газети, сайти, уряд та вчені будують рейтинги ЗВО шляхом поєднання різних факторів. Також проводять ранжування конкретних програм, факультетів. Серед можливих критеріїв оцінки ЗВО виділяють зокрема показники добробуту, наукових досягнень та їх впливу, вибір студентів, підсумковий успіх, вибірковість, демографічну ситуацію. Існують рейтинги, які оцінюють ЗВО в межах однієї країни або по всьому світу. Про відсутність єдиного стандарту формування рейтингу ЗВО свідчать різноманітність постійно доповнюваних методів ранжування і супутня критика даних рейтингів.

1.1.2 Times Higher Education World University Rankings

З 2004 британське видавництво Times Higher Education щорічно публікує рейтинг Times Higher Education World University Rankings [2]. З червня 2010 року ТНЕ продемонстрував методику, яку було запропоновано використовувати для складання нового світового рейтингу університетів. Нова методика включала 13 окремих критеріїв ефективності, замість 6, прийнятих у між 2004 році. Після додаткових консультацій критерії були згруповані за п'ятьма основними загальними показниками, щоб зробити заключне ранжування:

- 1) викладання (навчальне середовище);

- 2) дослідження (обсяг, дохід і репутація);
- 3) цитування (дослідницький вплив);
- 4) міжнародна точка зору (співробітники, студенти та наукові дослідження);
- 5) дохід у галузі (передача знань).

Детально складові критеріїв представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Показники та ваги для THE World University Rankings

Критерій	Показник	Вага
Викладання	Опитування репутації	15%
	Співвідношення персоналу та студентів	4,5%
	Співвідношення доктора та бакалавра	2,25%
	Співвідношення докторів та академічного персоналу	6%
	Інституційний дохід	2,25%
Дослідження	Опитування репутації	18%
	Дохід від досліджень	6%
	Продуктивність досліджень	6%
Цитування	Дослідницький вплив	30%
Міжнародна точка зору	Частка іноземних студентів	2,5%
	Частка міжнародного персоналу	2,5%
	Міжнародне співробітництво	2,5%
Дохід у галузі	Передача знань	2,5%

1.1.3 The Academic Ranking of World Universities

З 2003 року у британському журналі The Economist щорічно публікується The Academic Ranking of World Universities [3], який було складено Шанхайським університетом Цзяо Тун. Даний рейтинг підтримується спеціалізованою компанією Shanghai Ranking Consultancy і вважається одним із найстаріших рейтингів ЗВО у світі. Китайський уряд фінансує ARWU і початкова його мета полягала в оцінці

відмінностей між ЗВО Китаю та університетами світу. ARWU отримав високу оцінку через свою чіткість і прозорість.

ЗВО ранжуються за кількома академічними або дослідницькими показниками, які наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Показники та ваги для ARWU

Критерій	Показник	Код	Вага
Якість освіти	Випускники закладу, які отримали Нобелівські премії та Філдсові медалі	Alumni	10%
Якість факультету	Співробітники установи, які отримали Нобелівські премії та Філдсові медалі	Award	20%
	Високо цитовані дослідники	HiCi	20%
Результати дослідження	Статті, опубліковані в Nature та Science	N&S	20%
	Статті, проіндексовані в Science Citation Index-Expanded та Social Science Citation Index	PUB	20%
Продуктивність на душу населення	Академічна успішність закладу на душу населення	PCP	10%

Дані отримуються з сайтів <http://www.webofscience.com>, <http://www.nobelprize.org>, <http://www.mathunion.org> та від національних агенцій, таких як Національне міністерство освіти, Національне бюро статистики, Національна асоціація університетів і коледжів, Національна ректорська конференція.

1.1.4 Quacquarelli Symonds World University Rankings

З 2004 року щорічно публікується Quacquarelli Symonds World University Rankings [4]. Система QS складається з трьох частин: глобального загального рейтингу, предметного рейтингу, який оцінює найкращі університети світу для вивчення 51 різних предметів і п'яти складених факультетів, а також п'ять незалежних регіональних таблиць, а саме Азію, Латинську Америку, Новий Європа і Центральна Азія, Арабський регіон, а також Бразилія, Росія, Індія, Китай і Південна Африка, які об'єднано в одну таблицю.

ЗВО ранжуються за шістьма простими показниками, що, на думку QS, ефективно відображають результативність університету, які наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Показники та ваги для QS World University Rankings

Критерій	Показник	Вага
Академічна репутація	На основі внутрішнього глобального академічного опитування	40%
Співвідношення викладачів і студентів	Вимірювання відданості викладанню	20%
Цитування на факультет	Вимірювання впливу дослідження	20%
Репутація роботодавця	На основі опитування роботодавців-випускників	10%
Коефіцієнт міжнародного студентства	Вимірювання різноманітності студентської спільноти	5%
Коефіцієнт міжнародного персоналу	Вимірювання різноманітності академічного персоналу	5%

QS публікує результати рейтингу в світових ЗМІ та уклав партнерські відносини з низкою видань, включаючи The Guardian у Великобританії та Chosun Ilbo у Кореї.

1.1.5 Center for World University Rankings

З 2012 року Center for World University Rankings [5] публікує єдиний академічний рейтинг світових університетів, який оцінює якість освіти, працевлаштування випускників, якість викладачів та результати досліджень, не покладаючись на опитування та надані університетські дані. CWUR є провідною консалтинговою організацією, яка надає поради щодо політики, стратегічну інформацію та консультаційні послуги урядам та університетам для покращення результатів освіти та досліджень.

З 2016 року центр Всесвітнього рейтингу університетів знаходиться в Об'єднаних Арабських Еміратах.

Таблиця 1.4

Показники та ваги для CWUR

Критерій	Показник	Вага
Якість освіти	Кількість випускників університету, які здобули великі академічні відзнаки відносно розміру університету	25%
Працевлаштування випускників	Кількість випускників університету, які мали найвищі керівні посади в найбільших світових компаніях відносно розміру університету	25%
Якість факультету	Кількість викладачів, які отримали великі академічні відзнаки	10%
Результативність дослідження	Результати дослідження, виміряні загальною кількістю наукових робіт	10%
	Публікації високої якості, що вимірюється кількістю наукових статей, що з'являються у провідних журналах	10%
	Вплив, що вимірюється кількістю дослідницьких статей, що з'являються у дуже впливових журналах	10%
	Цитування, що вимірюється кількістю високоцитованих наукових робіт	10%

1.2 Огляд та аналіз наявних публікацій

У роботі Шиджа Н.К., Сьюзен Метью К. та Сурендран Черукодан [6] було розглянуто зв'язок між науковими результатами та інституційним рейтингом на основі Національної інституційної системи рейтингу (NIRF) Індії. Дана робота аналізує та порівнює параметри NIRF з показниками провідних світових рейтингів університетів. Основна частина даних була зібрана з офіційних веб-сайтів NIRF, THE World University Rankings та QS World University Rankings. Дослідження показало, що параметри, встановлені для оцінки індійських закладів у рамках NIRF, збігаються з параметрами інших світових рейтингових агентств університетів. Згідно проведеного дослідження індійські ЗВО, які отримали високі результати за продуктивність досліджень, опинилися на першому місці в NIRF. Ці університети також фігурували у світових рейтингах університетів. В результаті Шиджа Н.К., Сьюзен Метью К. та Сурендран Черукодан показали, що існує тісний зв'язок між науковою продуктивністю та інституційним рейтингом.

У статті Октавіо Лойола-Гонсалеса, Мігеля Анхель Медіна-Переса, Раймундо Адріана Короніла Вальдеса, Кіма-Квана Реймонда Чу [7] представлено перше наукометричне дослідження світових рейтингів університетів на основі контрастних моделей. Це дослідження збирає базу даних, що містить 34 функції, які описують основні показники дослідження для 200 найкращих університетів у рейтингу QS. Використання 18 найсучасніших класифікаторів у цій базі даних показує, що 100 найкращих університетів у рейтингу QS World University Rankings відокремлюються від інших порівнюваних університетів, досягаючи в середньому точності 71%. Крім того, за допомогою алгоритму аналізу контрастних шаблонів витягується набір шаблонів, що описують 100 найкращих університетів на основі наукометричних ознак. Крім того, у цьому дослідженні пропонується підхід до візуалізації вилучених шаблонів, щоб полегшити особам, які приймають рішення, у формулюванні та оцінці своїх дослідницьких (рейтингових) стратегій.

Хоссейн, М.Н. та Ахмед, С.М.З [8] взяли за мету використання наукових комунікацій та даних про цитування, щоб оцінити університети Бангладеш з точки зору країни, що розвивається. У їх статті були використані дані про публікації та цитування Scopus для рейтингу ЗВО Бангладеш. Кількість статей, опублікованих щороку протягом 2008-2018 рр. вибраними 33 університетами, кількість викладачів на душу населення, дворічні цитування та кількість цитованих статей були використані для визначення щорічного зваженого балу та загального балу для кожного університету. Загальний бал був використаний для складання рейтингу університетів Бангладеш. Результати дослідження показують, що система рейтингу може бути запроваджена на національному рівні як метод для оцінювання ЗВО з точки зору країни, що розвивається.

Трой А. Хеффернан та Аманда Хеффернан [9] використовують поняття Ліотара про мовні ігри, щоб висунути гіпотезу про те, що університети мають певну владу над їх місцем у рейтингах, створюючи наративи, які маніпулюють їхніми показниками для просування власних сильних сторін. У їх статті розглядаються результати дослідження, яке включає відповіді університетів на глобальні рейтинги протягом 2016 року, підготовлених двома основними рейтинговими органами THE і QS . Існуюча література встановила, що рейтингові таблиці можуть бути використані як засіб приниження і можуть викликати жах для всіх причетних. Таким чином, значення висновків дослідження Троя Хеффернана та Аманди Хеффернан полягає в нових способах теоретизації відповідей університетів на появу в рейтингах в той час, коли наукова діяльність має великі ставки, де здібності установ вимірюються та звітуються в глобальному масштабі.

У роботі Я-Вен Хоу та В. Джеймса Джейкоба [10] було досліджено вплив показників глобальних рейтингів університетів на підсумковий рейтинг ЗВО. За допомогою регресійного аналізу це дослідження досліджує внесок індикатора до рейтингу університетів у світових рейтингових системах університетів, включаючи ARWU, THE і QS World University Rankings. Результати показали, що в системі

ARWU три показники, що стосуються викладачів, які отримали Нобелівські премії та медалі Філдса, та статті, опубліковані в журналах Nature and Science та в журналах Science Citation Index та Social Science Citation Index, передбачили рейтинг університетів. Для систем QS і THE більш потужним внеском до рейтингу університетів були індикатори репутації на основі експертів.

Юань Джордж Шань, Джунру Чжан, Манзурул Алам та Філ Хенкок [11] взяли за мету дослідження взаємозв'язку між рейтингами університетів та звітністю щодо сталого розвитку серед університетів Австралії та Нової Зеландії. Це дослідження охоплює 46 університетів Австралії та Нової Зеландії та використовує набір даних, який включає звіти про сталість та розкриття інформації з чотирьох каналів звітності, включаючи веб-сайти університетів та університетські архіви, у період з 2005 по 2018 рік. Звичайна регресія найменших квадратів була використана з кореляціями Пірсона та Спірмана, щоб дослідити ймовірність мультиколінеарності, а також розраховували значення коефіцієнта дисперсії. Також у цьому дослідженні використовується узагальнений метод моментів для перевірки ендогенності. Результати дослідження свідчать про те, що звітність щодо сталого розвитку суттєво та позитивно пов'язана з рейтингом університетів, і підтверджують, що чотири канали звітності відіграють важливу роль у спілкуванні із зацікавленими сторонами університету. Крім того, у цьому документі зафіксовано, що звіти про сталість через веб-сайти, на додаток до річного звіту та окремого звіту про навколишнє середовище, мають позитивний вплив на систему рейтингу університетів.

У дослідженні Услу та Баріс [12] за мету було взято визначення значущих показників та вивчення їх індивідуальної ваги за допомогою розширеного набору показників міжнародних рейтингів університетів. У дослідженні був використаний прогнозний підхід кореляційного дослідження. Набір даних складався з балів університетів у світових рейтингах університетів ARWU, THE, QS та URAP за 2018 рік і включає бали 224 університетів. Дані були реорганізовані відповідно до

розширеного набору показників, попередньо сформульованого дослідником. Потім регресійний аналіз був використаний у два етапи для дослідження значущих предикторів за допомогою розширеного набору показників. Дослідник також перерахував відсоткові значення семи комбінованих показників: цитування, дохід, інтернаціоналізація, премія, публікація, репутація та співвідношення/ступені. Висновки показали, що хоча всі ці показники є статистично значущими, складові репутації дослідників становлять 73,71% рейтингових балів університетів. З іншого боку, дохід є єдиним негативним внеском з вагою $-1,78\%$. Дослідження також виявило, що при порівнянні двох балів на основі перерахованих і присвоєних ваг лише 19 університетів займають однакову позицію серед 224 університетів. Після цих результатів дослідник потім обговорює різні політики та практики, які можуть прискорити успіх у рейтингу університетів. З огляду на достовірність даних і поздовжню доцільність, також було розроблено кілька рекомендацій для подальших досліджень систем рейтингування університетів.

Цзінь Лю, Сонгюе Лін, Манлін Ву та Венцзін Лю [13] у своїй роботі застосовують модель комплексної системи у сфері університетської інноваційної системи в контексті рейтингу університетів у країнах уздовж «Одного поясу і шляху», що є довгостроковою галуззю, яка залишається поза увагою. Вони запроваджують новий метод рейтингу університетів на основі співвідношення «виграш і програш», щоб виміряти відносну конкурентоспроможність між університетами. Ця стаття робить внесок у дослідження комплексної системи, дослідження «Один пояс і шлях» та рейтинг університетів.

Соломон Арулрадж Давид [14] зробив дослідження, яке має на меті зрозуміти зв'язок між третьою місією університету та рейтингом університетів. Зокрема, він досліджує охоплення найкращих університетів у країнах БРІКС. Огляд відповідної літератури допомагає дослідженню зрозуміти третя місія університету та як вона пов'язана з рейтингом університетів. За результатами дослідження було визначено найкращі університети країн БРІКС у чотирьох системах рейтингу, таких як QS,

Times, ARWU та MosIUR. Далі розглядається місія та бачення (як зазначено на їхніх веб-сайтах) найкращих університетів з країн БРІКС, щоб зрозуміти стратегії цих університетів для вирішення третьої місії. Результати дослідження свідчать про те, що найкращі університети БРІКС свідчать про явне прагнення до своєї третьої місії. Вони розумно описують свою третю місію з відповідними стратегіями та інформаційно-роз'яснювальною діяльністю у своєму баченні та заявах про місію. Проте немає чітких вказівок щодо вимірювання стратегій третьої місії та діяльності цих установ, які потребують детального вивчення.

Франческа Поцці, Флавіо Манганелло, Марчелло Пассареллі, Донателла Персіко, Ендрю Брашер, Вейн Холмс, Деніз Уайтлок і Альберт Сангра [15] у своєму дослідженні використали підхід за участю, щоб визначити набір критеріїв та показників, відповідних для відображення особливостей дистанційної освіти. За словами учасників дослідження, окрім досягнень студентів та загальних кількісних показників успішності ЗВО, які є досить поширеними в традиційних системах рейтингу, найважливішими критеріями виявився досвід викладання та навчання студентів. Підтримка студентів, підтримка викладачів, технологічна інфраструктура, дослідження та організація вважалися середніми критеріями, тоді як стабільність та репутація вважалися найменш важливими критеріями.

1.3 Постановка задачі

Актуальність даного дослідження полягає у необхідності розробки програмного забезпечення для ефективного прийняття рішень студентами щодо вибору університету в умовах багатокритерійності та варіантності альтернативних рішень.

Об'єктом дослідження є процес формування рейтингу університетів.

Предметом дослідження є метод багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS та його параметри для формування рейтингу університетів.

Метою роботи є дослідження методу Fuzzy MARCOS та впливу його параметрів на результат прийняття рішень при формуванні рейтингу університетів.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1) огляд існуючих рейтингів університетів;
- 2) огляд методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS та його параметрів;
- 3) експертне оцінювання обраних університетів за визначеними критеріями;
- 4) порівняльний аналіз результатів застосування різних параметрів методу Fuzzy MARCOS;
- 5) програмна реалізація системи для формування рейтингу університетів.

Для побудови рейтингу університетів розглядаються наступні критерії оцінки, зібрані з різних міжнародних рейтингів:

1. *Академічна репутація.* На основі академічного опитування QS порівнюються думки експертів понад 130 000 осіб у сфері вищої освіти щодо якості викладання та досліджень у світових університетах. За розміром і масштабом цей критерій є неперевершеним засобом вимірювання настроїв в академічній спільноті.

2. *Репутація роботодавця.* Показник репутації роботодавця базується на понад 75 000 відповідях на опитування роботодавців QS і просить роботодавців визначити ті установи, з яких вони отримують найбільш компетентних, інноваційних, ефективних випускників.

3. *Співвідношення викладачів і студентів.* Вимірювання співвідношення вчитель/учень є найефективнішою проксі-метрикою для якості викладання. Він оцінює, наскільки заклади можуть надати студентам значущий доступ до викладачів і репетиторів, і визнає, що велика кількість викладачів на одного студента зменшить навантаження на кожного окремого академіка.

4. *Цитування на факультет.* Для обчислення береться загальна кількість цитат, отриманих усіма роботами, створеними закладом за п'ятирічний період, за кількістю викладачів цього закладу. Щоб врахувати той факт, що різні галузі мають

дуже різні видавничі культури – статті, що стосуються наук про життя, становлять майже половину всіх цитат досліджень станом на 2015 рік – цитування нормалізується. Це означає, що цитата, отримана для статті з філософії, вимірюється інакше, ніж цитата, отримана для статті з анатомії та фізіології, гарантуючи, що при оцінці справжнього наукового впливу установи, обом цитатам надається однакова вага. Цитати були взяті за 2015-2020 роки. Усі дані про цитування отримані з використанням бази даних Elsevier Scopus, найбільшого у світі сховища даних академічних журналів. Цього року QS оцінив 96 мільйонів цитат із 14,7 мільйонів статей після виключення самоцитування.

5. *Статті в Nature та Science*. Кількість статей, опублікованих у журналах Nature та Science за 2016–2020 рр. Щоб розрізнити порядок належності автора, призначається вага 100 % для відповідної належності автора, 50 % для першого авторства (друга належність автора, якщо перша належність автора є однаковою з відповідною належністю автора), 25% для наступної належності автора та 10% для інших авторських приналежностей. Якщо є більше однієї відповідної адреси автора, ми вважаємо першу відповідну адресу автора відповідною адресою автора і розглядаємо інші відповідні адреси автора як першу адресу автора, адресу другої автора тощо, дотримуючись порядку адрес автора. Розглядаються лише публікації типу «Стаття».

6. *Scopus публікації*. Кількість публікацій у бібліографічній та реферативній базі даних Scopus.

7. *Нагороджені випускники*. Загальна кількість випускників закладу, які отримали Нобелівські премії та Філдсові медалі. Випускниками вважаються ті, хто здобув у закладі ступінь бакалавра, магістра або доктора. За періодами отримання ступенів встановлюються різні ваги. Вага становить 100% для випускників, які отримали вчений ступінь після 2011 року, 90% для випускників, які отримали вчений ступінь у 2001-2010 роках, 80% для випускників, які отримали вчений ступінь у 1991-2000 роках і так далі, і, нарешті, 10% для випускників, які отримали

вчений ступінь у 1921-1921 роках. Якщо особа отримує більше одного ступеня в закладі, в критерій зараховується лише один раз.

8. *Нагороджені співробітники.* Загальна кількість співробітників закладу, які отримали Нобелівську премію з фізики, хімії, медицини та економіки та Філдсову медаль з математики. Співробітники визначається як особа, яка працює в установі на момент здобуття премії. Різні ваги встановлюються відповідно до періодів здобуття нагород. Вага становить 100% для переможців після 2011 року, 90% для переможців у 2001-2010 роках, 80% для переможців у 1991-2000 роках, 70% для переможців у 1981-1990 роках і так далі, і, нарешті, 10% для переможців 192 1930 рік. Якщо переможець пов'язаний з більш ніж однією установою, кожній установі присвоюється відповідне значення. Для Нобелівських премій, якщо премію ділить більше ніж одна особа, ваги переможців встановлюються відповідно до їхньої частки премії.

9. *Дохід у галузі.* Здатність університету допомагати промисловості інноваціями, винаходами та консультаціями. Ця категорія прагне охопити таку діяльність із передачі знань, розглядаючи, скільки наукових доходів установа отримує від промисловості у порівнянні з кількістю академічного персоналу, який вона наймає. Категорія говорить про те, наскільки підприємства готові платити за дослідження, а також здатність університету залучати фінансування на комерційному ринку.

10. *Коефіцієнт міжнародного студентства.* Вимірювання різноманітності студентської спільноти.

11. *Коефіцієнт міжнародного персоналу.* Вимірювання різноманітності академічного персоналу.

Для подальшого використання назви критеріїв було замінено на умовні позначення, які наведено у таблиці 1.5. Вхідний набір даних для виконання дипломної роботи наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.5

Критерії

Критерій	Умовне позначення
Академічна репутація	K1
Репутація роботодавця	K2
Співвідношення викладачів і студентів	K3
Цитування на факультет	K4
Статті в Nature та Science	K5
Scopus публікації	K6
Нагороджені випускники	K7
Нагороджені співробітники	K8
Дохід у галузі	K9
Коефіцієнт міжнародного студентства	K10
Коефіцієнт міжнародного персоналу	K11

Таблиця 1.6

Вхідні дані

Критерії	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
Університети											
Delft University of Technology	70,70	87,90	43,90	75,80	22,00	18,31	10,7	1,00	97,7	85,60	99,80
Katholieke Universiteit Leuven	83,40	55,50	9,40	77,50	25,40	28,17	1,00	1,00	99,20	36,10	90,70
Ludwig-Maximilians-Universität München	92,90	80,70	49,10	43,90	31,70	31,66	25,60	18,50	100,00	36,20	57,60
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	80,60	41,80	99,10	34,20	30,00	28,25	18,50	24,50	56,90	49,50	52,30
Sorbonne University	90,10	47,40	38,90	49,30	30,20	49,75	37,1	26,50	38,20	57,10	34,00
The University of Warwick	74,30	92,00	47,80	51,40	15,10	13,47	13,10	28,80	41,60	99,20	98,10
University of Bristol	75,50	82,90	70,80	44,80	27,20	21,80	5,30	15,80	39,80	80,60	91,50
University of Copenhagen	72,80	38,70	100,00	31,20	37,40	29,43	19,2	18,20	54,4	26,50	91,80
University of Glasgow	73,00	66,80	60,40	33,50	21,00	20,02	5,3	1,00	40,70	97,10	93,80
University of Zurich	59,70	60,60	98,00	45,90	32,00	24,32	1,00	23,20	64,10	59,80	100,00

Висновки до розділу 1

В даному розділі було виконано підготовчий етап до магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Було охарактеризовано основні міжнародні рейтинги університетів, досліджено їх методологію, критерії оцінювання.

2. Було розглянуто наявні публікації стосовно рейтингування університетів. З описаних робіт витікає, що для ARWU наукові нагороди передбачили рейтинг університетів, а для QS і THE більш потужним внеском до рейтингу університетів були індикатори репутації.

3. Було створено матрицю вхідних даних для дипломної роботи на основі міжнародних рейтингів THE, QS та ARWU. Набір даних включає 10 університетів та їх оцінки по 11 критеріям.

2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, МЕТОДИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ РЕЙТИНГУ УНІВЕРСИТЕТІВ

2.1 Трикутні нечіткі числа

Нечітке число $\tilde{A} = (l, m, u)$ називається трикутним, якщо його функція належності $\mu_{\tilde{A}}(x)$ має трикутну форму [16]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{якщо } l < x < m \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{якщо } m < x < u \\ 0, & \text{якщо } x > u \end{cases} \quad (2.1)$$

Нижче наведено операції між нечіткими трикутними числами $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ та $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$:

1) додавання:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2.2)$$

2) віднімання:

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) - (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (2.3)$$

3) множення:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (2.4)$$

4) ділення:

$$\frac{\tilde{A}_1}{\tilde{A}_2} = \frac{(l_1, m_1, u_1)}{(l_2, m_2, u_2)} = \left(\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (2.5)$$

5) знаходження оберненого числа:

$$\tilde{A}_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right) \quad (2.6)$$

2.2 Метод багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS

Метод Fuzzy MARCOS має ряд переваг: розгляд нечітких орієнтирів через нечіткий ідеальний та нечіткий антиідеальний розв'язок на самому початку формування моделі, більш точне визначення ступеня корисності щодо обох заданих рішень, пропозиція нового способу визначення функцій корисності та її агрегування, можливість розглянути великий набір критеріїв та альтернатив [17]. Нижче наведено кроки методу Fuzzy MARCOS.

Крок 1. Створення початкової нечіткої матриці прийняття рішень з n критеріїв і m альтернатив:

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_j & \dots & \tilde{C}_n \\ \tilde{A}_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{A}_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2j} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{A}_i & \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{A}_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mj} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix}, \quad (2.7)$$

де \tilde{X} – нечітка матриця прийняття рішень;

\tilde{A}_i – i -та альтернатива;

\tilde{C}_j – j -тий критерій;

\tilde{x}_{ij} – оцінка i -тої альтернативи по j -тому критерію.

Крок 2. Створення розширеної початкової нечіткої матриці. Розширення виконується шляхом визначення нечіткого антиідеального $\tilde{A}(AI)$ та нечіткого ідеального $\tilde{A}(ID)$ рішення:

$$\tilde{A}(AI) = \begin{cases} \min_i \tilde{x}_{ij}, & \text{якщо } j \in B \\ \max_i \tilde{x}_{ij}, & \text{якщо } j \in C \end{cases} \quad (2.8)$$

де B – група критеріїв максимізації;

C – група критеріїв мінімізації.

$$\tilde{A}(ID) = \begin{cases} \max_i \tilde{x}_{ij}, & \text{якщо } j \in B \\ \min_i \tilde{x}_{ij}, & \text{якщо } j \in C \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\tilde{X} = \begin{matrix} & \tilde{C}_1 & \tilde{C}_2 & \dots & \tilde{C}_n \\ \tilde{A}(AI) & \tilde{x}_{ai1} & \tilde{x}_{ai2} & \dots & \tilde{x}_{ain} \\ \tilde{A}_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{A}_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{A}_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \\ \tilde{A}(ID) & \tilde{x}_{id1} & \tilde{x}_{id2} & \dots & \tilde{x}_{idn} \end{matrix}, \quad (2.10)$$

де \tilde{X} – розширена нечітка матриця прийняття рішень.

Крок 3. Створення нормалізованої нечіткої матриці $\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{m \times n}$:

$$\tilde{n}_{ij} = (n_{ij}^l, n_{ij}^m, n_{ij}^u) = \begin{cases} \left(\frac{x_{idj}^l}{x_{ij}^u}, \frac{x_{idj}^l}{x_{ij}^m}, \frac{x_{idj}^l}{x_{ij}^l} \right), \text{ якщо } j \in C \\ \left(\frac{x_{ij}^l}{x_{idj}^u}, \frac{x_{ij}^m}{x_{idj}^u}, \frac{x_{ij}^u}{x_{idj}^u} \right), \text{ якщо } j \in B \end{cases}, \quad (2.11)$$

де \tilde{n}_{ij} – нормалізована оцінка і-тої альтернативи по j-тому критерию;

n_{ij}^l – нижня границя \tilde{n}_{ij} ;

n_{ij}^m – елемент \tilde{n}_{ij} , для якого функція належності = 1;

n_{ij}^u – верхня границя \tilde{n}_{ij} .

Крок 4. Обчислення зваженої нечіткої матриці $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$. Матриця \tilde{V} розраховується шляхом множення матриці \tilde{N} на вагові коефіцієнти критеріїв w_j :

$$\tilde{v}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) = (n_{ij}^l \times w_j, n_{ij}^m \times w_j, n_{ij}^u \times w_j), \quad (2.12)$$

де \tilde{v}_{ij} – зважена нормалізована оцінка і-тої альтернативи по j-тому критерию.

Крок 5. Обчислення \tilde{S}_i - суми елементів зваженої нечіткої матриці:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij} \quad (2.13)$$

Крок 6. Розрахунок ступеня корисності альтернатив \tilde{K}_i :

$$\tilde{K}_i^- = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{ai}} = \left(\frac{s_i^l}{s_{ai}^u}, \frac{s_i^m}{s_{ai}^m}, \frac{s_i^u}{s_{ai}^l} \right) \quad (2.14)$$

$$\tilde{K}_i^+ = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_{id}} = \left(\frac{s_i^l}{s_{id}^u}, \frac{s_i^m}{s_{id}^m}, \frac{s_i^u}{s_{id}^l} \right) \quad (2.15)$$

Крок 7. Розрахунок нечіткого вектору $\tilde{T} = [\tilde{t}_i]_m$:

$$\tilde{t}_i = (t_i^l, t_i^m, t_i^u) = \tilde{K}_i^- \oplus \tilde{K}_i^+ = (k_i^{-l} + k_i^{+l}, k_i^{-m} + k_i^{+m}, k_i^{-u} + k_i^{+u}) \quad (2.16)$$

Крок 8. Розрахунок нечіткого числа \tilde{D} :

$$\tilde{D} = (d^l, d^m, d^u) = \max_i \tilde{t}_i \quad (2.17)$$

Далі необхідно дефазифікувати \tilde{D} за формулою:

$$d_{crisp} = \frac{d^l + 4d^m + d^u}{6} \quad (2.18)$$

Крок 9. Визначення функцій корисності щодо ідеального $f(\tilde{K}_i^+)$ та антиідеального $f(\tilde{K}_i^-)$ рішення:

$$f(\tilde{K}_i^+) = \frac{\tilde{K}_i^-}{d_{crisp}} = \left(\frac{k_i^{-l}}{d_{crisp}}, \frac{k_i^{-m}}{d_{crisp}}, \frac{k_i^{-u}}{d_{crisp}} \right) \quad (2.19)$$

$$f(\tilde{K}_i^-) = \frac{\tilde{K}_i^+}{d_{crisp}} = \left(\frac{k_i^{+l}}{d_{crisp}}, \frac{k_i^{+m}}{d_{crisp}}, \frac{k_i^{+u}}{d_{crisp}} \right) \quad (2.20)$$

Далі необхідно дефазифікувати $\tilde{K}_i^+, \tilde{K}_i^-, f(\tilde{K}_i^+), f(\tilde{K}_i^-)$ аналогічно формулі (2.18).

Крок 10. Визначення функцій корисності альтернатив $f(K_i)$:

$$f(K_i) = \frac{K_i^+_{crisp} + K_i^-_{crisp}}{1 + \frac{1-f(\tilde{K}_i^+)_{crisp}}{f(\tilde{K}_i^+)_{crisp}} + \frac{1-f(\tilde{K}_i^-)_{crisp}}{f(\tilde{K}_i^-)_{crisp}}} \quad (2.21)$$

Крок 11. Ранжування альтернатив на основі кінцевих значень функцій корисності. Бажано, щоб альтернатива мала максимально можливе значення функції корисності.

2.3 Об'єктивні методи визначення ваг критеріїв

2.3.1 Стандартне відхилення

Метод стандартного відхилення зосереджується виключно на математичному підході, який описує міру мінливості заданих значень. Цей метод призначає менші ваги атрибуту зі схожими значеннями в різних альтернативах [18]. Нижче наведено кроки методу.

Крок 1. Обчислення стандартного відхилення заданої матриці рішень:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}} \quad i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2.22)$$

де σ_j – стандартне відхилення j -го критерію;

\bar{x}_j – середня оцінка альтернатив по j -му критерію.

Крок 2. Розрахунок ваг критеріїв:

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (2.23)$$

2.3.2 Статистична дисперсія

Метод статистичної дисперсії – це метод, у якому об'єктивні вагові коефіцієнти виводяться з використанням математико-статистичної дисперсії, яка описує розкид змінних з їх середнього значення [19]. Нижче наведено кроки методу.

Крок 1. Обчислення статистичної дисперсії заданої матриці рішень:

$$V_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2.24)$$

де V_j – статистична дисперсія j -го критерію.

Крок 2. Розрахунок ваг критеріїв:

$$w_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (2.25)$$

2.3.3 Ентропія

Основне завдання ентропійного методу — врахувати міру невизначеності інформації, сформульовану за допомогою теорії ймовірностей [20]. Нижче наведено кроки методу.

Крок 1. Нормалізація матриці рішень:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2.26)$$

де x_{ij}^* – нормалізована оцінка i -ї альтернативи по j -му критерію.

Крок 2. Обчислення інформаційної ентропії для кожного конкретного критерію:

$$e_j = - \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}^* \ln(x_{ij}^*)}{\ln(m)}, \quad (2.27)$$

де e_j – інформаційна ентропія j -го критерію.

Крок 3. Розрахунок ваг критеріїв:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (2.28)$$

2.3.4 CRITIC

Метод включає інтенсивність контрасту та конфлікту в структуру проблеми прийняття рішення. Він використовує кореляційний аналіз, щоб з'ясувати контрасти між критеріями [21]. Нижче наведено кроки методу.

Крок 1. Нормалізація матриці рішень:

$$x_{ij}^* = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \text{ якщо } j \in B \\ \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \text{ якщо } j \in C \end{cases} \quad i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2.29)$$

де x_j^{\min} – мінімальна оцінка по j -му критерію;

x_j^{\max} – максимальна оцінка по j -му критерію.

Крок 2. Обчислення лінійного коефіцієнту кореляції між значеннями критеріїв у матриці:

$$R_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad j, k \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2.30)$$

де R_{ik} – лінійного коефіцієнту кореляції між j -тим та k -тим критеріями.

Крок 3. Обчислення лінійного коефіцієнту кореляції між значеннями критеріїв у матриці:

$$R_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad j, k \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2.31)$$

де R_{ik} – лінійного коефіцієнту кореляції між j -тим та k -тим критеріями.

Крок 4. Обчислення кількості інформації, що входить до критеріїв:

$$\beta_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - R_{jk}), \quad (2.32)$$

де β_j – кількість інформації, що входить до j -го критерію.

Крок 5. Розрахунок ваг критеріїв:

$$w_j = \frac{\beta_j}{\sum_{j=1}^n \beta_j} \quad (2.33)$$

2.3.5 MEREC

MEREC використовує ефекти видалення кожного критерію на загальну продуктивність альтернатив для розрахунку ваг критеріїв. У методі критерій має більшу вагу, коли його видалення призводить до більшого впливу на сукупні характеристики альтернатив [22]. Нижче наведено кроки методу.

Крок 1. Нормалізація матриці рішень для перетворення всіх критеріїв на критерії типу мінімізації:

$$x_{ij}^* = \begin{cases} \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}, & \text{якщо } j \in B \\ \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}, & \text{якщо } j \in C \end{cases} \quad i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (2.34)$$

Крок 2. Обчислення загальної продуктивності альтернатив S_i . Для отримання загальних показників альтернатив на цьому кроці застосовується логарифмічна міра з однаковими вагами критеріїв. Відповідно до нормованих значень, отриманих на попередньому етапі, ми можемо гарантувати, що менші значення x_{ij}^* дають більші значення продуктивності:

$$S_i = \ln \left(1 + \frac{\sum_{j=1}^n |\ln(x_{ij}^*)|}{n} \right) \quad (2.35)$$

Крок 3. Обчислення ефективності альтернатив, видаливши кожен критерій. Продуктивність альтернатив розраховується за симетрією на основі видалення кожного критерію окремо:

$$S_{ij}^* = \ln \left(1 + \frac{\sum_{k=1, k \neq j}^n |\ln(x_{ik}^*)|}{n} \right), \quad (2.36)$$

де S_{ij}^* – ефективності i -ї альтернативи при видаленні j -го критерію.

Крок 4. Обчислення суми абсолютних відхилень:

$$E_j = \sum_{i=1}^m |S_i - S_{ij}^*|, \quad (2.37)$$

де E_j – ефект видалення j -го критерію.

Крок 5. Розрахунок ваг критеріїв:

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_{j=1}^n E_j} \quad (2.38)$$

2.4 Методи нормалізації

В даній роботі досліджується вплив нормалізації в різних методах визначення ваг критеріїв, оскільки в кожному з них використовуються відмінні способи. Розглянути методи наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Методи нормалізації

Методи нормалізації	Група критеріїв	Формула
Лінійний: Мах [23]	максимізації	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$
	мінімізації	$x_{ij}^* = 1 - \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$
Лінійний: Мах-Min [23]	максимізації	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$
	мінімізації	$x_{ij}^* = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$
Лінійний: сума [23]	максимізації	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$
	мінімізації	$x_{ij}^* = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{i=1}^m 1/x_{ij}}$
Векторна нормалізація [24]	максимізації	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$
	мінімізації	$x_{ij}^* = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$
Логарифмічна нормалізація [24]	максимізації	$x_{ij}^* = \frac{\ln(x_{ij})}{\ln(\prod_{i=1}^m x_{ij})}$
	мінімізації	$x_{ij}^* = \frac{1}{m-1} \left(1 - \frac{\ln(x_{ij})}{\ln(\prod_{i=1}^m x_{ij})} \right)$
Нормалізація з методу WASPAS [25]	максимізації	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$
	мінімізації	$x_{ij}^* = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}$

2.5 Метод фазифікації

Оскільки в даній роботі використовуються вхідні данні з рейтингів, в яких альтернативи оцінюються по 100 бальній шкали, було запропоновано ввести метод фазифікації таких даних. Нижче наведено кроки методу.

Крок 1. Визначення кроку *step* трикутних термів, в залежності від їх заданої кількості:

$$step = \frac{x_{max} - x_{min}}{n}, \quad (2.39)$$

де n – кількість термів;

x_{max} – максимальний бал по шкалі;

x_{min} – мінімальний бал по шкалі.

Крок 2. Визначення трикутних термів \tilde{A}_i :

$$\tilde{A}_i = (l_i, m_i, u_i) = \begin{cases} (x_{min}, x_{min}, x_{min} + step), \text{ якщо } i = 1 \\ (m_{i-1}, u_{i-1}, u_{i-1} + step), \text{ якщо } 1 < i < n \\ (x_{max} - step, x_{max}, x_{max}), \text{ якщо } i = n \end{cases} \quad (2.40)$$

Крок 3. Розрахунок значення функції належності вхідної змінної по кожному терму:

$$\mu(x_j)_i = \begin{cases} \frac{x_j - l_i}{m_i - l_i}, \text{ якщо } l_i < x_j < m_i \\ \frac{u_i - x_j}{u_i - m_i}, \text{ якщо } m_i < x_j < u_i \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad (2.41)$$

Крок 4. Фазифікація:

$$\mu(x_j)_{max} = \max_i \mu(x_j)_i \quad (2.42)$$

Якщо максимальне значення функції належності для змінної $= 0$, то обирається перший терм. Якщо для 2х термів значення функції належності однакове ($=0,5$), то обирається правий терм. В інших випадках обирається терм з найбільшим значенням $\mu(x_j)$.

2.6 Методи дефазифікації

Через те, що в методі Fuzzy MARCOS на кроках 8,9 відбуваються дефазифікація змінних $\tilde{D}, \tilde{K}_i^+, \tilde{K}_i^-, f(\tilde{K}_i^+), f(\tilde{K}_i^-)$, було вирішено досліди вплив функції дефазифікації на результуючий рейтинг. Було обрано наступні методи дефазифікації нечіткого трикутного числа $\tilde{A} = (l, m, u)$:

- 1) оригінальний метод, застосований у Fuzzy MARCOS (формула (2.18));
- 2) медіана [26]:

$$\tilde{A}_{crisp} = \frac{l+2m+u}{4} \quad (2.43)$$

- 3) центроїд [26]:

$$\tilde{A}_{crisp} = \frac{l+m+u}{3} \quad (2.44)$$

- 4) Мінковський [27]:

$$\tilde{A}_{crisp} = l + \frac{u-m}{4} \quad (2.45)$$

Висновки до розділу 2

В даному розділі було визначено математичні моделі, методи, інформаційні технології для формуванні рейтингу університетів, зокрема:

1. Було охарактеризовано трикутні нечіткі числа та операції з ними, такі як додавання, віднімання, множення, ділення, знаходження оберненого числа;
2. Було досліджено алгоритм методу Fuzzy MARCOS.
3. Було проаналізовано об'єктивні методи визначення ваг критеріїв, такі як стандартне відхилення, статистична дисперсія, ентропія, CRITIC, MEREC.
4. Було оглянуто такі методи нормалізації як Max, Max-Min, суми, векторний, логарифмічний та з методу WASPAS для подальшого використання у об'єктивних методах визначення ваг критеріїв.
5. Було запропоновано власний метод фазифікації чітких оцінок університетів.
6. Було розглянуто методи дефазифікації, такі як медіана, центроїд та метод Мінковського, для використання на 8му та 9му кроках методу Fuzzy MARCOS.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Фазифікація початкових даних

В результаті застосування формул (2.39), (2.40) та (2.41) із запропонованого методу фазифікації, було отримано шкалу з 9 трикутних термів використовуючи $x_{max} = 100$ та $x_{min} = 1$, яку наведено на рисунку 3.1.

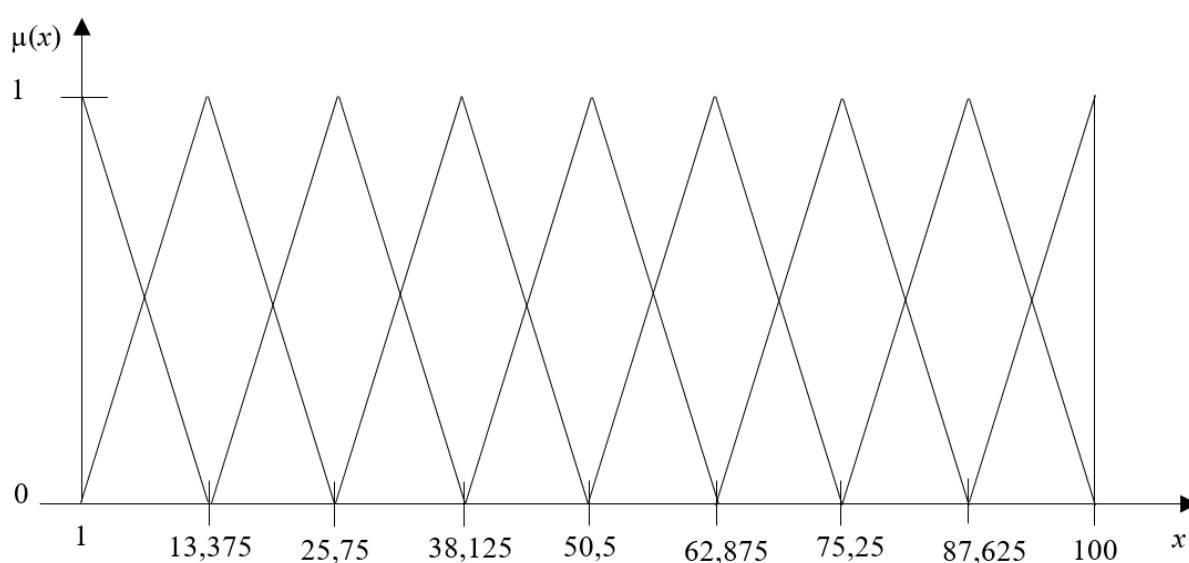


Рис. 3.1. Трикутні терми

Після останнього кроку методу, було отримано фазифіковані значення оцінок університетів з таблиці 1.6, які наведено у таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1

Фазифіковані оцінки університетів по критеріям К1-К5

Критерії Університети	К1	К2	К3	К4	К5
Delft University of Technology	(62,875; 75,25; 87,625)	(75,25; 87,625; 100)	(25,75; 38,125; 50,5)	(62,875; 75,25; 87,625)	(13,375; 25,75; 38,125)
Katholieke Universiteit Leuven	(75,25; 87,625; 100)	(38,125; 50,5; 62,875)	(1; 13,375; 25,75)	(62,875; 75,25; 87,625)	(13,375; 25,75; 38,125)
Ludwig-Maximilians-Universität München	(75,25; 87,625; 100)	(62,875; 75,25; 87,625)	(38,125; 50,5; 62,875)	(25,75; 38,125; 50,5)	(13,375; 25,75; 38,125)
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	(62,875; 75,25; 87,625)	(25,75; 38,125; 50,5)	(87,625; 100; 100)	(25,75; 38,125; 50,5)	(13,375; 25,75; 38,125)
Sorbonne University	(75,25; 87,625; 100)	(38,125; 50,5; 62,875)	(25,75; 38,125; 50,5)	(38,125; 50,5; 62,875)	(13,375; 25,75; 38,125)
The University of Warwick	(62,875; 75,25; 87,625)	(75,25; 87,625; 100)	(38,125; 50,5; 62,875)	(38,125; 50,5; 62,875)	(1; 13,375; 25,75)
University of Bristol	(62,875; 75,25; 87,625)	(75,25; 87,625; 100)	(62,875; 75,25; 87,625)	(38,125; 50,5; 62,875)	(13,375; 25,75; 38,125)
University of Copenhagen	(62,875; 75,25; 87,625)	(25,75; 38,125; 50,5)	(87,625; 100; 100)	(13,375; 25,75; 38,125)	(25,75; 38,125; 50,5)
University of Glasgow	(62,875; 75,25; 87,625)	(50,5; 62,875; 75,25)	(50,5; 62,875; 75,25)	(25,75; 38,125; 50,5)	(13,375; 25,75; 38,125)
University of Zurich	(50,5; 62,875; 75,25)	(50,5; 62,875; 75,25)	(87,625; 100; 100)	(38,125; 50,5; 62,875)	(25,75; 38,125; 50,5)

Таблиця 3.2

Фазифіковані оцінки університетів по критеріям К6-К11

Критерії Університети	К6	К7	К8	К9	К10	К11
Delft University of Technology	(1; 13,375; 25,75)	(1; 13,375; 25,75)	(1; 1; 13,375)	(87,625; 100; 100)	(75,25; 87,625; 100)	(87,625; 100; 100)
Katholieke Universiteit Leuven	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 1; 13,375)	(1; 1; 13,375)	(87,625; 100; 100)	(25,75; 38,125; 50,5)	(75,25; 87,625; 100)
Ludwig-Maximilians-Universität München	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 13,375; 25,75)	(87,625; 100; 100)	(25,75; 38,125; 50,5)	(50,5; 62,875; 75,25)
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 13,375; 25,75)	(13,375; 25,75; 38,125)	(50,5; 62,875; 75,25)	(38,125; 50,5; 62,875)	(38,125; 50,5; 62,875)
Sorbonne University	(38,125; 50,5; 62,875)	(25,75; 38,125; 50,5)	(13,375; 25,75; 38,125)	(25,75; 38,125; 50,5)	(50,5; 62,875; 75,25)	(25,75; 38,125; 50,5)
The University of Warwick	(1; 13,375; 25,75)	(1; 13,375; 25,75)	(13,375; 25,75; 38,125)	(25,75; 38,125; 50,5)	(87,625; 100; 100)	(87,625; 100; 100)
University of Bristol	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 1; 13,375)	(1; 13,375; 25,75)	(25,75; 38,125; 50,5)	(62,875; 75,25; 87,625)	(75,25; 87,625; 100)
University of Copenhagen	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 13,375; 25,75)	(1; 13,375; 25,75)	(38,125; 50,5; 62,875)	(13,375; 25,75; 38,125)	(75,25; 87,625; 100)
University of Glasgow	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 1; 13,375)	(1; 1; 13,375)	(25,75; 38,125; 50,5)	(87,625; 100; 100)	(75,25; 87,625; 100)
University of Zurich	(13,375; 25,75; 38,125)	(1; 1; 13,375)	(13,375; 25,75; 38,125)	(50,5; 62,875; 75,25)	(50,5; 62,875; 75,25)	(87,625; 100; 100)

3.2 Дослідження нормалізації в методах визначення ваг критеріїв

Через те, що в різних об'єктивних методах визначення ваг критеріїв використовуються різні методи нормалізації, було вирішено їх модифікувати та дослідити вплив функцій нормалізації на результат цих методів. В таблицях 3.3 - 3.7 наведено наслідки застосування формул нормалізації з розділу 2, підрозділу 2.4 до першого етапу об'єктивних методів визначення ваг критеріїв з розділу 2, підрозділу 2.3.

Таблиця 3.3

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі стандартного відхилення

Методи нормалізації Критерії	Без змін	Мах	Мах- Min	Сума	Векторна нормалізація	Логарифмічна нормалізація	Нормалізація з методу WASPAS
K1	0,051	0,04	0,078	0,028	0,031	0,014	0,04
K2	0,103	0,08	0,098	0,066	0,071	0,036	0,08
K3	0,158	0,113	0,088	0,108	0,109	0,082	0,113
K4	0,085	0,079	0,093	0,073	0,078	0,038	0,079
K5	0,034	0,065	0,077	0,053	0,057	0,037	0,065
K6	0,052	0,075	0,073	0,083	0,087	0,051	0,075
K7	0,061	0,118	0,085	0,188	0,163	0,281	0,118
K8	0,057	0,143	0,105	0,153	0,143	0,323	0,143
K9	0,136	0,098	0,112	0,091	0,095	0,045	0,098
K10	0,138	0,1	0,096	0,093	0,096	0,053	0,1
K11	0,124	0,089	0,095	0,065	0,07	0,039	0,089

Таблиця 3.4

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі статистичної дисперсії

Методи нормалізації Критерії	Без змін	Мах	Мах- Мін	Сума	Векторна нормалізація	Логарифмічна нормалізація	Нормалізація з методу WASPAS
K1	0,024	0,016	0,066	0,007	0,009	0,001	0,016
K2	0,097	0,065	0,103	0,039	0,048	0,006	0,065
K3	0,228	0,13	0,084	0,104	0,114	0,033	0,13
K4	0,066	0,063	0,093	0,048	0,058	0,007	0,063
K5	0,011	0,043	0,064	0,025	0,031	0,007	0,043
K6	0,025	0,057	0,057	0,061	0,072	0,013	0,057
K7	0,034	0,14	0,079	0,316	0,253	0,388	0,14
K8	0,03	0,207	0,119	0,21	0,194	0,514	0,207
K9	0,17	0,097	0,135	0,074	0,085	0,01	0,097
K10	0,175	0,102	0,101	0,078	0,089	0,014	0,102
K11	0,141	0,081	0,098	0,038	0,046	0,008	0,081

Таблиця 3.5

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі ентропії

Методи нормалізації Критерії	Без змін	Мах	Мах- Мін	Сума	Векторна нормалізація	Логарифмічна нормалізація	Нормалізація з методу WASPAS
K1	0,006	0,196	0,027	0,006	0,119	0,001	0,196
K2	0,036	0,041	0,078	0,036	0,108	0,004	0,041
K3	0,106	0,017	0,049	0,106	0,085	0,024	0,017
K4	0,041	0,075	0,029	0,041	0,106	0,004	0,075
K5	0,024	0,043	0,014	0,024	0,113	0,005	0,043
K6	0,051	0,174	0,091	0,051	0,102	0,008	0,174
K7	0,299	0,028	0,026	0,299	0,028	0,389	0,028
K8	0,262	0,155	0,214	0,262	0,038	0,545	0,155
K9	0,064	0,031	0,174	0,064	0,098	0,006	0,031
K10	0,072	0,017	0,058	0,072	0,096	0,009	0,017
K11	0,039	0,224	0,239	0,039	0,107	0,005	0,224

Таблиця 3.6

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі CRITIC

Методи норма- ліза- ції Критерії	Без змін	Мах	Мах- Min	Сума	Векторна норма- ліза- ція	Логариф- мічна норма- ліза- ція	Норма- ліза- ція з методу WASPAS
K1	0,073	0,037	0,073	0,027	0,029	0,014	0,037
K2	0,097	0,08	0,097	0,067	0,071	0,036	0,08
K3	0,094	0,121	0,094	0,116	0,117	0,085	0,121
K4	0,093	0,079	0,093	0,074	0,079	0,04	0,079
K5	0,075	0,064	0,075	0,052	0,056	0,038	0,064
K6	0,069	0,071	0,069	0,079	0,083	0,052	0,071
K7	0,077	0,106	0,077	0,172	0,149	0,268	0,106
K8	0,099	0,136	0,099	0,147	0,136	0,317	0,136
K9	0,108	0,095	0,108	0,089	0,092	0,046	0,095
K10	0,106	0,11	0,106	0,103	0,107	0,058	0,11
K11	0,108	0,101	0,108	0,074	0,08	0,046	0,101

Таблиця 3.7

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі MEREC

Методи норма- ліза- ції Критерії	Без змін	Мах	Мах- Min	Сума	Векторна норма- ліза- ція	Логариф- мічна норма- ліза- ція	Норма- ліза- ція з методу WASPAS
K1	0,024	0,132	0,084	0,083	0,095	0,091	0,024
K2	0,047	0,094	0,079	0,084	0,093	0,091	0,047
K3	0,166	0,103	0,139	0,093	0,09	0,091	0,166
K4	0,04	0,073	0,052	0,084	0,093	0,091	0,04
K5	0,053	0,091	0,078	0,084	0,094	0,091	0,053
K6	0,06	0,048	0,037	0,084	0,092	0,091	0,06
K7	0,203	0,03	0,04	0,111	0,081	0,091	0,203
K8	0,207	0,072	0,101	0,12	0,083	0,091	0,207
K9	0,043	0,099	0,092	0,085	0,092	0,091	0,043
K10	0,076	0,084	0,09	0,086	0,092	0,091	0,076
K11	0,081	0,175	0,209	0,086	0,094	0,091	0,081

Для подальшого використання назв об'єктивних методів визначення ваг критеріїв на графіках, їх було скорочено: стандартне відхилення (СВ), статистична дисперсія (СД), ентропія (Е). Візуалізацію таблиць 3.3 - 3.7 наведено на рисунку 3.2. Для спрощення позначень, цифрою після назви метода визначення ваг критеріїв позначено методи нормалізації, а саме: без змін (1), Max (2), Max-Min (3), сума (4), векторна нормалізація (5), логарифмічна нормалізація (6), нормалізація з методу WASPAS (7).

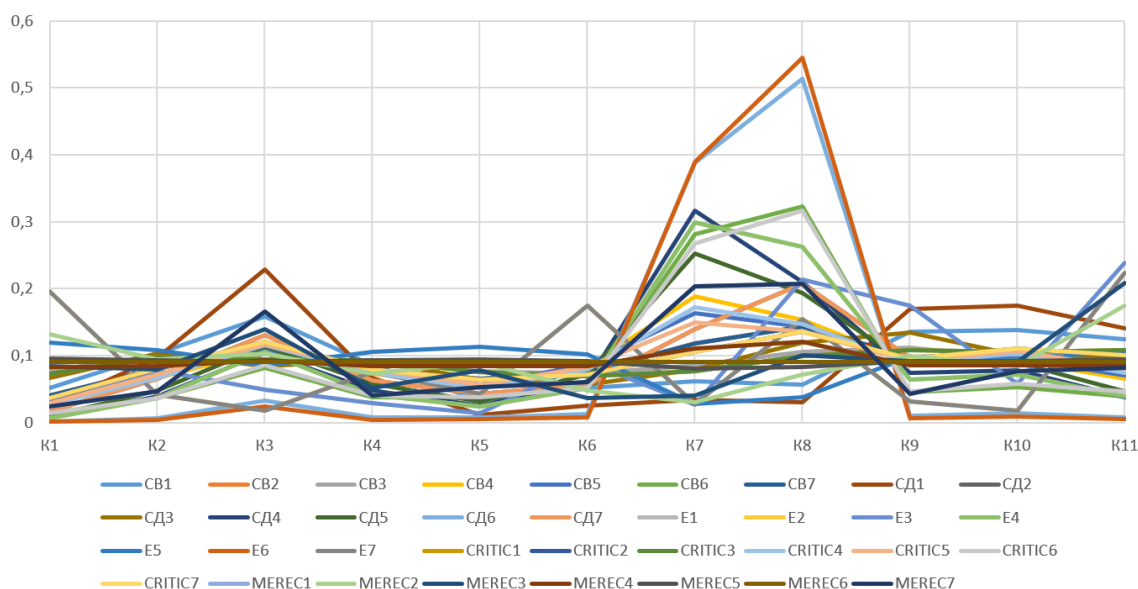


Рис. 3.2. Ваги критеріїв К1-К11 при комбінації методів визначення ваг критеріїв та методів нормалізації

З рисунку 3.2 можна бачити, що загалом методи визначають критерії К7 (нагороджені випускники) та К8 (нагороджені співробітники) як найбільш важливі.

Щоб дослідити вплив методів нормалізації на кожен метод визначення ваг критеріїв окремо, було створено графіки з рисунку 3.3.

Кафедра інтелектуальних інформаційних систем
Дослідження методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS при формуванні рейтингу
університетів

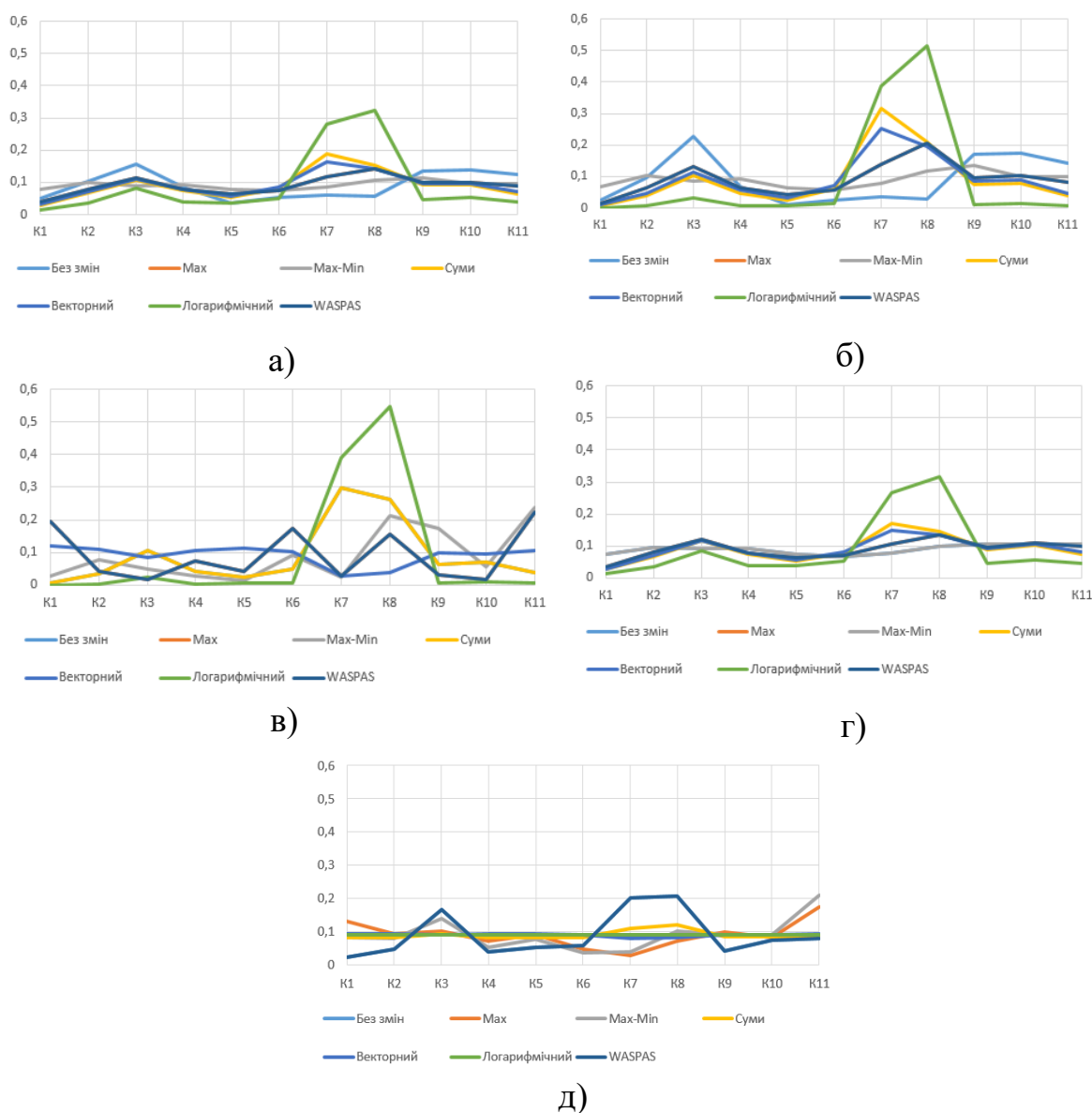


Рис. 3.3. Ваги критеріїв K1-K11 при використанні різних методів нормалізації у методах (а) стандартного відхилення, (б) статистичної дисперсії, (в) ентропії, (г) CRITIC та (д) MEREC

З графіку 3.3-а видно, що метод стандартного відхилення надає перевагу критеріям K3, K7 та K8. Найбільший розкид від значень ваг критеріїв при оригінальній реалізації методу стандартного відхилення надав метод логарифмічної нормалізації. На графіку 3.3-б можна бачити аналогічну ситуацію – пріоритет критеріїв K3, K7 та K8 у методі статистичної дисперсії, але значимість

К7 та К8 більш помітна, в порівнянні з К3. Логарифмічна нормалізація має найбільш крутий графік.

Метод ентропії, який зображено на рисунку 3.3-в, дає значно відмінні один від одного ваги критеріїв залежно від методу нормалізації. Метод логарифмічної нормалізації знов має найбільш сильний вплив на результуючі ваги критеріїв.

Графік 3.3-г ілюструє, що метод CRITIC хоч і надає перевагу критеріям К3, К7 та К8, але розподіл ваг критеріїв є більш рівномірним, окрім при логарифмічному методу нормалізації.

З графіку 3.3-а видно, що метод MEREC розподіляє ваги критеріїв майже рівномірно при модифікації його методу нормалізації.

Оскільки метод логарифмічної нормалізації показує найбільш сильний вплив на результати при реалізації всіх об'єктивних методів визначення ваги критеріїв, то було вирішено винести його на окремий графік (рисунок 3.4).

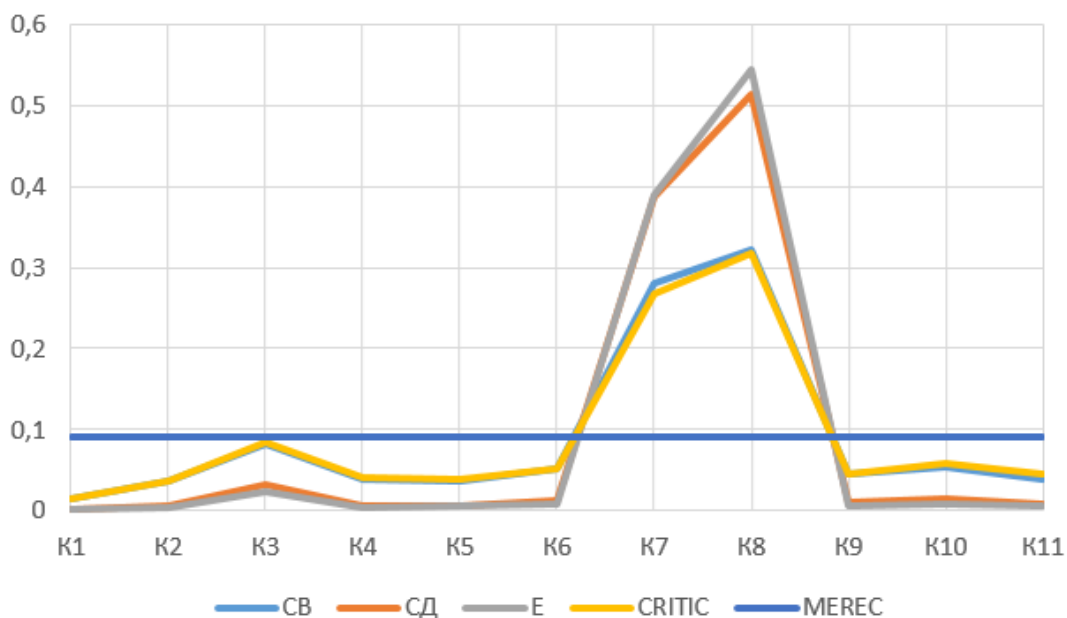


Рис. 3.4. Ваги критеріїв при використанні логарифмічного методу нормалізації

Отже, при використанні методу логарифмічної нормалізації у методах визначення ваг критеріїв, критерії К7 та К8 мають найбільший вплив, поки інші

критерії мають настільки малі ваги, що майже не впливають на результати рейтингування. Для методу MEREC така нормалізація призводить до рівномірного розподілу ваг критеріїв.

3.3 Дослідження дефазифікації у методі Fuzzy MARCOS

Після застосування формул дефазифікації (2.43)-(2.45) та (2.18) в методі Fuzzy MARCOS на кроках 8,9, було обчислено значення функції корисності альтернатив $f(K_i)$ за формулою (2.21). Результати рейтингування для всіх розглянутих об'єктивних методів визначення ваг критеріїв без модифікацій їх методів нормалізації наведено у таблицях 3.8-3.11.

Таблиця 3.8

Рейтинг університетів при різних методах дефазифікації з використанням методу стандартного відхилення для визначення ваг критеріїв

Методи дефазифікації	Без змін		Медіана		Центроїд		Метод Мінковського	
	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг
Університети								
Delft University of Technology	0,726	<u>1</u>	0,737	<u>1</u>	0,748	<u>1</u>	0,587	<u>1</u>
Katholieke Universiteit Leuven	0,423	10	0,436	10	0,448	10	0,335	8
Ludwig-Maximilians-Universität München	0,532	5	0,543	5	0,554	5	0,393	6
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	0,51	7	0,52	7	0,529	7	0,373	7
Sorbonne University	0,432	9	0,445	9	0,457	9	0,311	10
The University of Warwick	0,627	3	0,635	3	0,643	3	0,471	4
University of Bristol	0,594	4	0,611	4	0,627	4	0,472	3
University of Copenhagen	0,461	8	0,47	8	0,479	8	0,33	9
University of Glasgow	0,51	6	0,525	6	0,539	6	0,415	5
University of Zurich	0,719	2	0,729	2	0,738	2	0,574	2

Таблиця 3.9

**Рейтинг університетів при різних методах дефазифікації з
 використанням методу статистичної дисперсії для визначення ваг критеріїв**

Університети \ Методи дефазифікації	Без змін		Медіана		Центроїд		Метод Мінковського	
	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг
Delft University of Technology	0,735	2	0,745	2	0,755	2	0,616	2
Katholieke Universiteit Leuven	0,382	9	0,393	9	0,403	9	0,303	9
Ludwig-Maximilians-Universität München	0,495	7	0,505	7	0,515	7	0,386	7
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	0,522	6	0,531	6	0,54	6	0,408	6
Sorbonne University	0,329	10	0,34	10	0,351	10	0,243	10
The University of Warwick	0,613	3	0,621	3	0,629	4	0,489	4
University of Bristol	0,604	4	0,621	4	0,638	3	0,503	3
University of Copenhagen	0,472	8	0,481	8	0,489	8	0,363	8
University of Glasgow	0,544	5	0,557	5	0,569	5	0,453	5
University of Zurich	0,748	1	0,756	1	0,765	1	0,624	1

Таблиця 3.10

**Рейтинг університетів при різних методах дефазифікації з
 використанням методу ентропії для визначення ваг критеріїв**

Університети \ Методи дефазифікації	Без змін		Медіана		Центроїд		Метод Мінковського	
	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг
Delft University of Technology	0,319	7	0,342	7	0,365	8	0,249	6
Katholieke Universiteit Leuven	0,147	10	0,168	10	0,19	10	0,153	10
Ludwig-Maximilians-Universität München	0,501	5	0,521	5	0,541	5	0,313	5

Методи дефазифіка- ції Університети	Без змін		Медіана		Центроїд		Метод Мінковського	
	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	0,56	2	0,58	2	0,599	2	0,356	3
Sorbonne University	0,803	1	0,828	1	0,852	1	0,555	1
The University of Warwick	0,548	3	0,567	3	0,586	3	0,347	4
University of Bristol	0,316	8	0,341	8	0,366	7	0,24	7
University of Copenhagen	0,377	6	0,394	6	0,412	6	0,219	8
University of Glasgow	0,195	9	0,219	9	0,243	9	0,2	9
University of Zurich	0,52	4	0,545	4	0,57	4	0,406	2

Таблиця 3.11

**Рейтинг університетів при різних методах дефазифікації з
 використанням методу CRITIC для визначення ваг критеріїв**

Методи дефазифіка- ції Університети	Без змін		Медіана		Центроїд		Метод Мінковського	
	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг
Delft University of Technology	0,695	2	0,709	2	0,723	2	0,55	1
Katholieke Universiteit Leuven	0,455	10	0,472	10	0,489	9	0,365	8
Ludwig-Maximilians- Universität München	0,564	5	0,577	5	0,589	5	0,396	5
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	0,513	7	0,526	7	0,538	7	0,354	9
Sorbonne University	0,546	6	0,562	6	0,577	6	0,385	6
The University of Warwick	0,635	3	0,645	3	0,654	3	0,451	3
University of Bristol	0,577	4	0,595	4	0,613	4	0,436	4
University of Copenhagen	0,463	9	0,475	9	0,487	10	0,313	10
University of Glasgow	0,471	8	0,488	8	0,505	8	0,379	7
University of Zurich	0,714	1	0,727	1	0,74	1	0,548	2

Таблиця 3.12

**Рейтинг університетів при різних методах дефазифікації з
 використанням методу MEREC для визначення ваг критеріїв**

Університети	Методи дефазифікації		Без змін		Медіана		Центроїд		Метод Мінковського	
	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг	$f(K_i)$	Ранг
Delft University of Technology	0,408	8	0,427	8	0,446	8	0,302	8		
Katholieke Universiteit Leuven	0,207	10	0,227	10	0,247	10	0,178	10		
Ludwig-Maximilians-Universität München	0,517	6	0,533	6	0,549	6	0,321	7		
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	0,644	3	0,656	3	0,669	3	0,411	3		
Sorbonne University	0,711	2	0,729	2	0,747	<u>1</u>	0,473	2		
The University of Warwick	0,619	4	0,632	4	0,644	4	0,393	4		
University of Bristol	0,473	7	0,495	7	0,517	7	0,343	5		
University of Copenhagen	0,527	5	0,539	5	0,552	5	0,323	6		
University of Glasgow	0,33	9	0,353	9	0,376	9	0,287	9		
University of Zurich	0,716	<u>1</u>	0,731	<u>1</u>	0,746	2	0,53	<u>1</u>		

З вищенаведених таблиць можна бачити, що метод дефазифікації з Fuzzy MARCOS та метод медіана хоча і мають відмінності в значенні функцій корисності альтернатив, але в результаті видають один і той самий рейтинг. З цього слідує, що метод медіани надалі можна не розглядати.

Метод центроїду дає схожі результати з методом медіани. Для них ідентичним є набір університетів у першій двійці рейтингу. Якщо людина, що приймає рішення, зацікавлена лише в знаходженні найкращого університету, то методом центроїду можна знехтувати, адже лише в одному методі з п'яти він поставив на перше місце альтернативу, відмінну від методу медіани.

Метод Мінковського дає результати майже ідентичні методу медіани, лише декілька альтернатив мають відмінне положення на одну позицію у рейтингу в порівнянні з методом дефазифікації з Fuzzy MARCOS. При застосуванні всіх

методів визначення ваг критеріїв, метод Мінковського лише в одному методі з п'яти він поставив на перше місце альтернативу, відмінну від методу медіани. Отже якщо людина, що приймає рішення, зацікавлена лише в знаходженні найкращого університету, то методом Мінковського можна знехтувати.

3.4 Побудова рейтингу університетів з використанням методу Fuzzy MARCOS

Для використання назв методів нормалізації та дефазифікації у фінальних таблицях, їх було замінено на умовні позначення, які наведено у таблицях 3.13 та 3.14.

Таблиця 3.13

Методи нормалізації

Метод	Умовне позначення
Без змін	H1
Мах	H2
Мах-Мін	H3
Сума	H4
Векторна нормалізація	H5
Логарифмічна нормалізація	H6
Нормалізація з методу WASPAS	H7

Таблиця 3.14

Методи дефазифікації

Метод	Умовне позначення
Без змін	Д1
Центроїд	Д2
Метод Мінковського	Д3

Для побудови фінального рейтингу університетів було застосовано комбінації формул дефазифікації (2.44), (2.45) та (2.18) та об'єктивних методів

визначення ваг критеріїв при різних функціях нормалізації. Результати рейтингування для всіх розглянутих параметрів наведено у таблицях 3.15-3.19.

Таблиця 3.15

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі стандартного відхилення

Параметри Університети	Н1			Н2			Н3			Н4			Н5			Н6			Н7		
	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3
Delft University of Technology	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	4	4	2	2	2	<u>1</u>	6	6	3	6	4	3	8	8	7	4	4	2
Katholieke Universiteit Leuven	10	10	8	10	10	10	9	8	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ludwig-Maximilians-Universität München	5	5	6	6	6	7	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	6	6	7
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	7	7	7	5	5	6	7	7	9	5	5	6	5	6	6	2	2	3	5	5	6
Sorbonne University	9	9	10	3	3	4	5	5	6	<u>1</u>	<u>1</u>	2	<u>1</u>	<u>1</u>	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	3	3	4
The University of Warwick	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	2	2	3
University of Bristol	4	4	3	7	7	5	6	6	4	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	5
University of Copenhagen	8	8	9	8	8	9	8	10	10	8	8	9	8	8	9	6	6	8	8	8	9
University of Glasgow	6	6	5	9	9	8	10	9	8	9	9	8	9	9	8	9	9	9	9	9	8
University of Zurich	2	2	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	2	2	2	<u>1</u>	2	2	<u>1</u>	4	4	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>

Таблиця 3.16

**Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі статистичної
 дисперсії**

Параметри Університети	Н1			Н2			Н3			Н4			Н5			Н6			Н7		
	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3
Delft University of Technology	2	2	2	6	6	5	2	2	<u>1</u>	7	7	6	6	6	6	8	8	8	6	6	5
Katholieke Universiteit Leuven	9	9	9	10	10	10	8	8	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ludwig-Maximilians-Universität München	7	7	7	5	5	7	4	4	5	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	7
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	6	6	6	4	4	4	7	7	8	2	2	3	3	3	3	2	2	2	4	4	4
Sorbonne University	10	10	10	3	3	3	6	6	6	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	3	3	3
The University of Warwick	3	4	4	2	2	2	3	3	3	4	4	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2
University of Bristol	4	3	3	7	7	6	5	5	4	8	8	7	8	8	7	7	7	7	7	7	6
University of Copenhagen	8	8	8	8	8	9	9	10	10	6	6	8	7	7	9	6	6	6	8	8	9
University of Glasgow	5	5	5	9	9	8	10	9	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9	9	9	8
University of Zurich	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	2	5	5	2	2	2	2	4	4	4	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>

Таблиця 3.17

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі ентропії

Параметри Університети	Н1			Н2			Н3			Н4			Н5			Н6			Н7		
	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3
Delft University of Technology	7	8	6	6	6	5	3	3	2	7	8	6	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	8	8	8	6	6	5
Katholieke Universiteit Leuven	10	10	10	5	5	2	7	7	4	10	10	10	6	6	5	10	10	10	5	5	2
Ludwig-Maximilians-Universität München	5	5	5	8	8	9	4	4	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	8	8	9
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	2	2	3	9	9	10	6	6	7	2	2	3	10	10	10	2	2	2	9	9	10
Sorbonne University	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	3	2	3	9	9	10	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	8	8	8	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	3	2	3
The University of Warwick	3	3	4	2	3	4	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	2	3	4
University of Bristol	8	7	7	4	4	6	5	5	6	8	7	7	3	3	3	7	7	7	4	4	6
University of Copenhagen	6	6	8	7	7	8	8	8	9	6	6	8	9	9	9	6	6	6	7	7	8
University of Glasgow	9	9	9	10	10	7	10	10	8	9	9	9	7	7	7	9	9	9	10	10	7
University of Zurich	4	4	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	4	4	2	2	2	2	4	4	4	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>

Таблиця 3.18

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі CRITIC

Параметри Університети	Н1			Н2			Н3			Н4			Н5			Н6			Н7		
	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3
Delft University of Technology	2	2	<u>1</u>	3	3	2	2	2	<u>1</u>	6	5	3	4	4	3	8	8	7	3	3	2
Katholieke Universiteit Leuven	10	9	8	10	10	10	10	9	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ludwig-Maximilians-Universität München	5	5	5	7	7	7	5	5	5	5	6	7	6	6	7	5	5	5	7	7	7
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	7	7	9	5	6	6	7	7	9	4	4	5	5	5	6	3	3	4	5	6	6
Sorbonne University	6	6	6	4	4	5	6	6	6	<u>1</u>	<u>1</u>	2	2	2	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	4	4	5
The University of Warwick	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	2	2	3	2	2	3
University of Bristol	4	4	4	6	5	4	4	4	4	7	7	6	7	7	5	7	7	6	6	5	4
University of Copenhagen	9	10	10	8	8	9	9	10	10	8	8	9	8	8	9	6	6	8	8	8	9
University of Glasgow	8	8	7	9	9	8	8	8	7	9	9	8	9	9	8	9	9	9	9	9	8
University of Zurich	<u>1</u>	<u>1</u>	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	2	2	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	4	4	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>

Таблиця 3.19

Ваги критеріїв при різних методах нормалізації в методі MEREC

Параметри Університети	Н1			Н2			Н3			Н4			Н5			Н6			Н7		
	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3	Д1	Д2	Д3
Delft University of Technology	8	8	8	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	8	8	8
Katholieke Universiteit Leuven	10	10	10	8	8	6	9	9	9	10	10	9	10	10	8	10	10	8	10	10	10
Ludwig-Maximilians-Universität München	6	6	7	5	5	7	8	8	8	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	7
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	3	3	3	9	9	9	6	7	7	7	7	7	7	7	9	7	7	9	3	3	3
Sorbonne University	2	<u>1</u>	2	10	10	10	10	10	10	2	2	3	4	3	4	3	3	3	2	<u>1</u>	2
The University of Warwick	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4	5	4	4	5	4	4	4
University of Bristol	7	7	5	4	4	3	4	4	4	6	6	5	5	5	3	6	5	4	7	7	5
University of Copenhagen	5	5	6	6	7	8	5	5	6	8	8	10	8	9	10	8	8	10	5	5	6
University of Glasgow	9	9	9	7	6	5	7	6	5	9	9	8	9	8	7	9	9	7	9	9	9
University of Zurich	<u>1</u>	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	2	<u>1</u>

Остаточний рейтинг було отримано шляхом усереднення всіх рейтингів з таблиць вище. Результат наведено в таблиці 3.20.

Таблиця 3.20

Рейтинг університетів

Університет	Ранг
Delft University of Technology	4
Katholieke Universiteit Leuven	10
Ludwig-Maximilians-Universität München	7
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	5
Sorbonne University	3
The University of Warwick	2
University of Bristol	6
University of Copenhagen	8
University of Glasgow	9
University of Zurich	1

Висновки до розділу 3

В даному розділі було промодельовано та досліджено отримані результати:

1. Було фазифіковано вхідні данні, які склались з чітких оцінок університетів.
2. Було досліджено впливу функції нормалізації в методах визначення ваг критеріїв.
3. Було проаналізовано способи дефазифікації у методі Fuzzy MARCOS.
4. Було оглянуто результати методу Fuzzy MARCOS при комбінації формул дефазифікації та об'єктивних методів визначення ваг критеріїв при різних функціях нормалізації.
5. Було створено результуючий рейтинг університетів.

4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ

4.1 Вибір програмного забезпечення та інтерфейс користувача

При виборі програмного забезпечення для програмної реалізації формування рейтингу університетів використовуючи метод Fuzzy MARCOS було розглянуто WPF та Windows Forms.

WPF - система для побудови клієнтських програм Windows з візуально привабливими можливостями взаємодії з користувачем, графічна (презентаційна) підсистема у складі .NET Framework (починаючи з версії 3.0), що використовує мову XAML (eXtensible Application Markup Language).

В основі WPF лежить векторна система візуалізації, яка не залежить від дозволу пристрою виведення та створена з урахуванням можливостей сучасного графічного обладнання. WPF надає засоби для створення візуального інтерфейсу, включаючи мову XAML, елементи керування, прив'язку даних, макети, двовимірну та тривимірну графіку, анімацію, стилі, шаблони, документи, текст, мультимедіа та оформлення.

Графічною технологією, що лежить в основі WPF, є DirectX на відміну від Windows Forms, де використовується GDI/GDI+[3]. Продуктивність WPF вище, ніж у GDI+ рахунок використання апаратного прискорення графіки через DirectX.

Також існує урізана версія CLR, що називається WPF/E, вона відома як Silverlight.

Прив'язка даних - це гнучкий механізм, який дозволяє через розширення розмітки XAML пов'язувати різні дані (від значень властивостей елементів керування до загальнодоступних властивостей, що реалізують поля баз даних через Entity Framework). Прив'язка даних представлена класом Binding, який успадкований від MarkupExtension, що дозволяє використовувати прив'язки не тільки в кодї, але і в розмітці.

Стилі дозволяють створювати стильове оформлення елементів і, як правило, використовуються лише у розмітці. Якщо стиль задається в ресурсах (наприклад, у словнику ресурсів), можна використовувати атрибут `x:Key` для вказівки унікального ключа. Потім елемент управління, до якого потрібно застосувати стиль, потрібно використовувати розширення розмітки `StaticResource` для зв'язування з цим стилем. Якщо використовувати цей прийом, то стилі не нагромаджуватимуть розмітку.

Шаблони елементів керування дозволяють змінювати графічне оформлення елементів та представлені класом `ControlTemplate`. На відміну від стилів, можна змінювати як графічне уявлення елемента, а й його структуру. При цьому шаблон елемента управління визначається властивістю `Template`.

Шаблони даних, на відміну від шаблонів елементів керування, задаються для певного контексту даних (який у блокових елементах управління задається через властивість `DataContext`, а у спискових через `ItemsSource`). Сам шаблон даних представлений класом `DataTemplate`. Для позначення типу даних, якого необхідно застосувати шаблон, використовується властивість `DataType`.

Система ресурсів дозволяє об'єднувати шаблони, стилі, пензлі, анімацію та багато інших інтерактивних елементів, що спрощує роботу з ними. Ресурси задаються як `Resources` класу `FrameworkElement`, від якого успадковані всі елементи управління, панелі компоновання і навіть клас `Application`. Це дозволяє створювати багаторівневу систему ресурсів:

- 1) ресурси всередині об'єкта – дійсні тільки для цього об'єкта;
- 2) ресурси всередині панелі компоновання (наприклад, `Grid`) — дозволяє задати межу контексту ресурсів на рівні цієї панелі;
- 3) ресурси всередині вікна `Window` — якщо у програмі використовується кілька вікон, то ресурси одного вікна не будуть доступні ресурсам іншого вікна.

`Windows Forms` — це структура інтерфейсу користувача для створення настільних програм `Windows`. Він забезпечує один з найпродуктивніших способів

створення настільних програм на основі візуального дизайнера, наданого у Visual Studio. Такі функціональні можливості, як розміщення візуальних елементів керування перетягуванням, дозволяють легко створювати настільні програми.

Програма Windows Forms — це програма, керована подіями, яка підтримується Microsoft .NET Framework. На відміну від пакетної програми, вона проводить більшу частину свого часу просто в очікуванні, що користувач щось зробить, наприклад, заповнить текстове поле або натисне кнопку. Код програми можна написати на мові програмування .NET, наприклад C# або Visual Basic.

Windows Forms надає доступ до звичайних елементів керування інтерфейсу користувача Windows шляхом обгортання існуючого Windows API у керований код. За допомогою Windows Forms .NET Framework забезпечує більш повну абстракцію над Win32 API, ніж Visual Basic або MFC.

Windows Forms подібна до бібліотеки Microsoft Foundation Class (MFC) у розробці клієнтських програм. Він надає обгортку, що складається з набору класів C++ для розробки додатків Windows. Однак вона не надає структуру програми за замовчуванням, як MFC. Кожен елемент керування в програмі Windows Forms є конкретним екземпляром класу.

Усі візуальні елементи в бібліотеці класів Windows Forms походять від класу Control. Це забезпечує мінімальну функціональність елемента інтерфейсу користувача, наприклад розташування, розмір, колір, шрифт, текст, а також звичайні події, такі як клацання та перетягування. Клас Control також має підтримку стикування, щоб дозволити елементу керування змінювати свою позицію під своїм батьківським елементом. Підтримка Microsoft Active Accessibility у класі Control також допомагає користувачам із вадами краще використовувати Windows Forms.

Окрім надання доступу до вбудованих елементів керування Windows, таких як кнопки, текстове поле, прапорці та списки, Windows Forms додав власні елементи керування для розміщення ActiveX, упорядкування макета, перевірки та

прив'язки багатих даних. Ці елементи керування відтворюються за допомогою GDI+.

У Windows Forms форма — це візуальна поверхня, на якій відображається інформація для користувача. Зазвичай програми Windows Forms створюються, додаючи елементи керування до форм і розробляючи відповіді на дії користувача, наприклад клацання мишею або натискання клавіш. Елемент керування — це дискретний елемент інтерфейсу користувача, який відображає дані або приймає введення даних.

Коли користувач щось робить з формою або одним із елементів керування, ця дія створює подію. Додаток реагує на ці події за допомогою коду та обробляє події, коли вони відбуваються.

Windows Forms містить різноманітні елементи керування, які можна додати до форм: елементи керування, які відображають текстові поля, кнопки, спадні вікна, перемикач і навіть веб-сторінки. Якщо наявний елемент керування не відповідає потребам, Windows Forms також підтримує створення власних спеціальних елементів керування за допомогою класу UserControl.

Серед переваг Windows Forms можна виділити те, що ця система є старішою і, отже, більш перевіреною. Вже існує багато елементів керування від сторонніх розробників, які можна купити або отримати безкоштовно. Конструктор у Visual Studio все ще кращий для WinForms, ніж для WPF, де розробнику доведеться виконувати більше роботи самостійно з WPF. Порівняння систем Windows Forms та WPF наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Різниця між WPF та Windows Forms

WPF	Windows Forms
Заснований на DirectX з підтримкою XAML.	Забезпечує доступ до рідної бібліотеки загальних елементів керування Windows.

WPF	Windows Forms
Використовує мову розмітки для проектування інтерфейсу користувача, що дозволяє проектувати складні інтерфейси користувача.	Не використовує мову розмітки для дизайну. Насправді використовує для дизайну елементи керування, керовані подіями.
Може відображатися швидко в порівнянні з WinForms.	Порівняно з WPF відображається повільно.
Можна використовувати для розробки та проектування як додатків Windows, так і веб-додатків.	Можна використовувати лише для розробки та проектування додатків Windows.
Має необмежену кількість налаштувань інтерфейсу користувача, а елементи керування можна легко налаштувати, оскільки система повністю написана з нуля.	Елементи керування обмежені та їх важко налаштувати.
Легше відокремити інтерфейс користувача від внутрішньої логіки.	Важко відокремити інтерфейс користувача від внутрішньої логіки.
Дозволяє обробляти великі набори даних завдяки вбудованій функції «віртуалізація інтерфейсу користувача».	Не має функції «віртуалізації інтерфейсу користувача».
Займає більше оперативної пам'яті, ніж WinForms.	Займає менший обсяг пам'яті.
Вважається доречним, коли додатку потрібно багато типів медіа, створювати інтерфейс користувача,	Вважається кращим, якщо необхідно розробити додаток без особливої

WPF	Windows Forms
прив'язуватися до XML, розробляти настільну програму зі стилем навігації, схожим на веб.	сучасної функціональності, більше онлайн-ресурсів.
Пропонує ефективне та повністю підтримуване прив'язування даних у порівнянні з WinForms.	Пропонує прив'язування даних, але в обмежений спосіб. Тому він менш ефективний порівняно з WPF.
Пропонує широкі, інтерактивні, анімовані, апаратно прискорені, векторні 2D та 3D можливості для розробки додатків.	У порівнянні з WPF, не пропонує жодних широких, інтерактивних, анімованих, апаратних прискорених, векторних 2D та 3D можливостей.
Використання WPF трохи трудомістко і складно в порівнянні з WinForms.	Використовувати WinForms просто, оскільки елементи керування можна легко використовувати, це менш трудомістко і менш складно порівняно з WPF.
Має вбудовану функцію інтерфейсу сюжету та модель анімації, він має можливість декларативно використовувати бізнес-об'єкти в інтерфейсі користувача.	Не надає таких функцій.

Визначимо що є пріоритетами в розробці додатку:

- 1) зменшення складності розробки;
- 2) акцент на інтерфейсі користувача;
- 3) зменшення обсягу ресурсів системи, що використовуються додатком при роботі;
- 4) додаток легко розгортати, оновлювати, керувати та використовувати;

- 5) стабільність технології;
- 6) наявність вичерпної документації;
- 7) низька крива навчання;
- 8) наявність елементів керування, готових до використання;
- 9) використання на операційній системі Windows.

Отже, враховуючи визначені вимоги до програмного додатку, можна зробити висновок щодо доречності застосування Windows Forms для розробки програмної реалізації формування рейтингу університетів використовуючи метод Fuzzy MARCOS.

Після вибору технічних засобів розробки було створено макет та імплементовано стартове меню. При ввімкненні програми користувач бачить два підписані поля для введення початкової інформації у програму та кнопку з написом (рисунок 4.1).

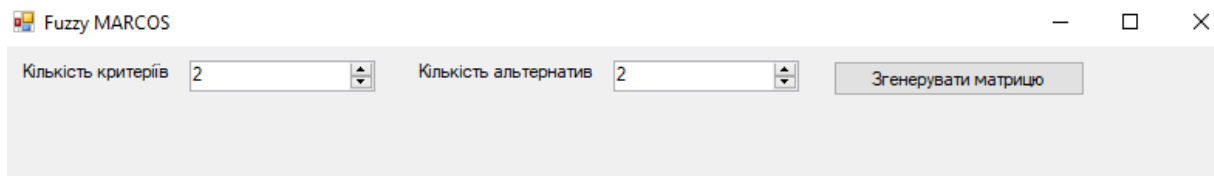


Рис. 4.1. Інтерфейс програми при запуску

Підписи «Кількість критеріїв» та «Кількість альтернатив» були реалізовані за допомогою класу Label. Відповідні поля після підписів – це клас NumericUpDown, який дозволяє лише введення чисел. Ці поля налаштовані таким чином, щоб мінімальне число, яке можна ввести, дорівнює двом, адже не має сенсу в виборі однієї альтернативи по одному критерію. Кнопка реалізована за допомогою класу Button.

4.2 Робота застосунку

Після того як користувач введе кількість критеріїв та кількість альтернатив, йому необхідно натиснути кнопку «Згенерувати матрицю» (рисунок 4.2).

Рис. 4.2. Результат натиснення кнопки «Згенерувати матрицю»

Під початковими полями генерується матриця заданого користувачем розміру за допомогою класу DataGridView. Дана матриця автоматично заповнює назви альтернатив («Альтернатива1», «Альтернатива2»,..., «Альтернатива m») та критеріїв («Критерій1», «Критерій2»,..., «Критерій n»). Користувач може змінити назви за замовчуванням (рисунок 4.3).

Альтернативи	Критерій1	Критерій2	Критерій3
Змінена назва			
Альтернатива2			

Рис. 4.3. Зміна назви першої альтернативи

Також для зручності відображення великих назв у згенерованій матриці присутня можливість введення багаторядкового тексту (рисунок 4.4).

Альтернативи	Критерій1	Критерій2	Критерій3
Змінена назва			
Альтернатива2			

Рис. 4.4. Зміна назви першої альтернативи з використання перенесення на новий рядок

Колонки «Спосіб визначення ваг критеріїв», «Спосіб нормалізації при визначенні ваг критеріїв» та «Спосіб дефазифікації» мають набір з декількох RadioButton, які мають подію CheckedChanged, що викликається при зміні статусу кнопки з нажатої в ненажату та навпаки. В кодї на цю подію підписується метод, що заносить у глобальну змінну значення, що відповідає номеру обраного варіанту з кожної групи RadioButton.

Всі RadioButton працюють однаково, окрім опції «Вручну» у групі «Спосіб визначення ваг критеріїв» (рисунок 4.5).

Спосіб визначення ваг критеріїв

Standard Deviation

Statistical Variance

Entropy

Criteria importance through inter-criteria(CRITIC)

Method based on the removal effects of criteria(MEREC)

Вручну

Спосіб дефазифікації

Без змін

Медіана

Центроїд

Мінковський

	Критерій1	Критерій2	Критерій3
Ваги			

Розрахувати/Перерахува

Рис. 4.5. Зміна назви першої альтернативи

При виборі опції «Вручну», колонка «Спосіб нормалізації при визначенні ваг критеріїв» зникає, адже ніякі методи визначення ваг критеріїв використовуватись не будуть і значення будуть братись з згенерованої нижче матриці, яку заповнює користувач.

Таблиця з вагами критеріїв використовує назви критеріїв з матриці вище. Користувач не може змінювати назви критеріїв в таблиці ваг, але може робити це в початковій матриці (рисунок 4.6).

Для зручності відображення великих назв у матриці ваг критеріїв присутня можливість відтворення багаторядкового тексту (рисунок 4.7). При цьому кнопка нижче змінює свою позицію при збільшенні висоти матриці.

Кількість критеріїв: 3 Кількість альтернатив: 2 Згенерувати матрицю

Альтернативи	Критерій01	Критерій2	Критерій3
Змінена назва			
Альтернатива2			

Спосіб визначення ваг критеріїв

Standard Deviation
 Statistical Variance
 Entropy
 Criteria importance through inter-criteria(CRITIC)
 Method based on the removal effects of criteria(MEREC)
 Вручну

Спосіб дефазифікації

Без змін
 Медіана
 Центроїд
 Мінковський

	Критерій01	Критерій2	Критерій3
Ваги			

Розрахувати/Перерахува

Рис. 4.6. Зміна назви першого критерію

Кафедра інтелектуальних інформаційних систем
 Дослідження методу багатокритерійного прийняття рішень Fuzzy MARCOS при формуванні рейтингу
 університетів

Кількість критеріїв: 3 Кількість альтернатив: 2 Згенерувати матрицю

Альтернативи	Критерій один	Критерій2	Критерій3
Змінена назва			
Альтернатива2			

Спосіб визначення ваг критеріїв

Standard Deviation
 Statistical Variance
 Entropy
 Criteria importance through inter-criteria(CRITIC)
 Method based on the removal effects of criteria(MEREC)
 Вручну

Спосіб дефазифікації

Без змін
 Медіана
 Центроїд
 Мінковський

	Критерій один	Критерій2	Критерій3
Ваги			

Розрахувати/Перерахува

Рис. 4.7. Зміна назви першого критерію з використання перенесення на новий рядок

Після того як користувач обрав необхідні параметри та заповнив матрицю оцінок альтернатив, йому необхідно натиснути кнопку «Розрахувати/Перерахувати» (рисунок 4.8).

Кількість критеріїв: 3 Кількість альтернатив: 2 Згенерувати матрицю

Альтернативи	Критерій один	Критерій2	Критерій3
Змінена назва	20	30	70
Альтернатива2	40	80	30

Спосіб визначення ваг критеріїв

Standard Deviation
 Statistical Variance
 Entropy
 Criteria importance through inter-criteria(CRITIC)
 Method based on the removal effects of criteria(MEREC)
 Вручну

Спосіб нормалізації при визначенні ваг критеріїв

Без змін
 Max
 Max-Min
 Сумма
 Векторна нормалізація
 Логарифмічна нормалізація
 Нормалізація з методу WASPAS

Спосіб дефазифікації

Без змін
 Медіана
 Центроїд
 Мінковський

Розрахувати/Перерахува

Рис. 4.8. Заповнена матриця та обрані параметри

При натисненні кнопки «Розрахувати/Перерахувати» під нею генерується ряд таблиць. Спочатку програма розраховує ваги критеріїв використовуючи метод, обраний користувачем. В кодї перевіряється значення змінних, які зберігають порядкові номери обраних методів визначення ваг критеріїв та, якщо не обрано метод «Вручну», перевіряється порядковий номер методу нормалізації. В середині блоку switch виконується розрахунок вагових коефіцієнтів всіх критеріїв:

```
switch (checkWeightMethod)
{
    case 0:
    {
        ///Standard Deviation

        switch (checkNormalization)
        {
            ...
        }
        ...
        break;
    }
    case 1:
    {
        //Statistical Variance

        switch (checkNormalization)
        {
            ...
        }
        ...
        break;
    }
    ...
}
```

Далі виконується фазифікація вхідних даних. Спочатку визначаються нечіткі трикутні терми:

```
for (int i = 0; i < fNum.Length; i++)
{
    for (int j = 0; j < fNum[i].Length; j++)
    {
        if (i == 0)
        {
            ...
        }
    }
}
```



```

        fNum[i][j] = 1 + (100.0 - 1) / (termNum - 1);
        ...
    }
    else
    {
        ...
        fNum[i][j] = fNum[i - 1][j + 1];
        ...
    }
}

```

Потім розраховується значення функції належності кожної чіткої оцінки з початкової матриці для кожного розрахованого нечіткого терму. Знаходиться максимальне значення функції належності, а, якщо воно рівне для двох терм, то обирається правий (більший) терм:

```

for (int j = 0; j < valueMatrix[i].Length; j++)
{
    ...
    for (int k = 0; k < termNum; k++)
    {
        if (matrixValues[i][j] >= fNum[k][0] && matrixValues[i][j] <= fNum[k][1])
        {
            SVM = (matrixValues[i][j] - fNum[k][0]) / (fNum[k][1] - fNum[k][0]);
        }
        else if (matrixValues[i][j] >= fNum[k][1] && matrixValues[i][j] <=
fNum[k][2])
        {
            SVM = (fNum[k][2] - matrixValues[i][j]) / (fNum[k][2] - fNum[k][1]);
        }
        else
        {
            SVM = 0;
        }

        ...
        if (maxM <= SVM)
        {
            maxM = SVM;
            indMax = k;
        }
    }
}

```

В циклі паралельно з фазифікацією відбувається знаходження ідеального (ID) рішення як максимальної фазифікованої оцінки альтернатив та антиідеального (AI) рішення як мінімальної оцінки альтернатив для подальшого використання в алгоритми Fuzzy MARCOS. В результаті виводиться таблиця з визначеними вагами критеріїв та фазифікованими оцінками альтернатив (рисунок 4.9).

Розрахувати/Перерахува			
	Критерій один	Критерій2	Критерій3
Альтернативи\Ваги	0,182	0,455	0,364
Змінена назва	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)	(62,875; 75,25; 87,625)
Альтернатива2	(25,75; 38,125; 50,5)	(62,875; 75,25; 87,625)	(13,375; 25,75; 38,125)
AI	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)
ID	(25,75; 38,125; 50,5)	(62,875; 75,25; 87,625)	(62,875; 75,25; 87,625)

Рис. 4.9. Фазифіковані оцінки альтернатив та ваги критеріїв

Наступним кроком підготовки даних є нормалізація. Всі фазифіковані оцінки альтернатив діляться на ідеальне рішення по кожному критерію. Результати нормалізації виводяться під попередньою таблицею (рисунок 4.10).

	Критерій один	Критерій2	Критерій3
Альтернативи\Ваги	0,182	0,455	0,364
Змінена назва	(0,265; 0,51; 0,755)	(0,153; 0,294; 0,435)	(0,718; 0,859; 1)
Альтернатива2	(0,51; 0,755; 1)	(0,718; 0,859; 1)	(0,153; 0,294; 0,435)
AI	(0,265; 0,51; 0,755)	(0,153; 0,294; 0,435)	(0,153; 0,294; 0,435)
ID	(0,51; 0,755; 1)	(0,718; 0,859; 1)	(0,718; 0,859; 1)

Рис. 4.10. Нормалізовані оцінки альтернатив

Останнім етапом підготовки даних є створення зваженої матриці оцінок альтернатив шляхом перемноження нормалізованих оцінок на вагові коефіцієнти відповідних критеріїв, які було визначено на попередніх кроках. Зважена матриця виводиться під попередньою таблицею (рисунок 4.11).

Альтернативи	Критерій один	Критерій2	Критерій3
Змінена назва	(0,048; 0,093; 0,137)	(0,069; 0,134; 0,198)	(0,261; 0,312; 0,364)
Альтернатива2	(0,093; 0,137; 0,182)	(0,326; 0,39; 0,455)	(0,056; 0,107; 0,158)

Рис. 4.11. Зважені оцінки альтернатив

Після підготовки даних починається використання методу Fuzzy MARCOS. Спочатку визначається змінна S , що є сумою зважених оцінок альтернатив по всім критеріям. Далі використовуючи цю змінну розраховуються змінні K^- та K^+ як відношення змінної S до суми максимальних оцінок по кожному критерію (K^+) та мінімальних (K^-). Потім розраховується змінна T , що є сумою K^+ та K^- (рисунок 4.12).

S	K^-	K^+	T
(0,378; 0,539; 0,699)	(0,767; 1,617; 4,038)	(0,378; 0,641; 1,028)	(1,146; 2,258; 5,065)
(0,474; 0,634; 0,795)	(0,962; 1,905; 4,592)	(0,474; 0,755; 1,169)	(1,436; 2,66; 5,761)

Рис. 4.12. Змінні S , K^- , K^+ , T

Наступним кроком розраховується значення змінної D як максимум по T та дефазифікується. Використовуючи дефазифіковану змінну D розраховуються значення $F(K^+)$ та $F(K^-)$ як відношення K^- до D та K^+ до D . Потім відбувається дефазифікація значень змінних K^+ , K^- , $F(K^+)$ та $F(K^-)$ аналогічним методом з

змінною D. В кодї використовується окремо створений метод дефазифікації, що приймає нечітке трикутне число на вхід та повертає чітке число. В середині методу виконується перевірка порядкового номера обраного користувачем метода дефазифікації в блоці switch:

```

...
double FplusCrisp = DefuzzifyTriangular(Fplus[i]);
...
double DefuzzifyTriangular(double[] t)
{
    switch (checkDefuzzification)
    {
        case 0:
        {
            return (t[0] + 4 * t[1] + t[2]) / 6;
        }
        case 1:
        {
            return (t[0] + 2 * t[1] + t[2]) / 4;
        }
        ...
    }
    return 0;
}

```

На останньому кроці використовуються дефазифіковані значення змінних $K+$, $K-$, $F(K+)$ та $F(K-)$ для розрахунку остаточних значень функції корисності $F(K)$ та назначаються ранги альтернатив в залежності від цього значення, тобто альтернативи з більшим значення $F(K)$ мають вищий ранг (рисунок 4.13).

$F(K+)$	$F(K-)$	$F(K)$	Rank
(0,258; 0,544; 1,358)	(0,127; 0,216; 0,346)	0,501	2
(0,324; 0,641; 1,545)	(0,16; 0,254; 0,393)	0,712	1

Рис. 4.13. Значення функції корисності та остаточний рейтинг

Всі таблиці, згенеровані під кнопкою «Розрахувати/Перерахувати» підтримують оновлення назв альтернатив та критеріїв при їх зміні у головній матриці оцінок альтернатив (рисунок 4.14).

Альтернативи	Критерій один	Критерій два	Критерій3
Змінена назва	20	30	70
Альтернатива2	40	80	30

	Критерій один	Критерій два	Критерій3
Альтернативи\Ваги	0,182	0,455	0,364
Змінена назва	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)	(62,875; 75,25; 87,625)
Альтернатива2	(25,75; 38,125; 50,5)	(62,875; 75,25; 87,625)	(13,375; 25,75; 38,125)
AI	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)	(13,375; 25,75; 38,125)
ID	(25,75; 38,125; 50,5)	(62,875; 75,25; 87,625)	(62,875; 75,25; 87,625)

	Критерій один	Критерій два	Критерій3
Альтернативи\Ваги	0,182	0,455	0,364
Змінена назва	(0,265; 0,51; 0,755)	(0,153; 0,294; 0,435)	(0,718; 0,859; 1)
Альтернатива2	(0,51; 0,755; 1)	(0,718; 0,859; 1)	(0,153; 0,294; 0,435)
AI	(0,265; 0,51; 0,755)	(0,153; 0,294; 0,435)	(0,153; 0,294; 0,435)
ID	(0,51; 0,755; 1)	(0,718; 0,859; 1)	(0,718; 0,859; 1)

Рис. 4.14. Зміна назви другого критерію

Висновки до розділу 4

В даному розділі було охарактеризовано програмну реалізацію методу Fuzzy MARCOS при формуванні рейтингу університетів:

1. Було описано системи WPF та Windows Forms, їх переваги та недоліки.
2. Обрано технічні засоби розробки застосунку.
3. Визначено інтерфейс програмної реалізації та бекенд.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було охарактеризовано основні міжнародні рейтинги університетів такі як THE, QS, CWUR та ARWU, досліджено їх методологію, критерії оцінювання. На основі цих рейтингів створено матрицю вхідних даних, яка включає 10 університетів та їх оцінки по 11 критеріям.

При дослідженні алгоритму методу Fuzzy MARCOS, було виявлено параметри для подальшого аналізу. Спочатку було обрано об'єктивні методи визначення ваг критеріїв, такі як стандартне відхилення, статистична дисперсія, ентропія, CRITIC, MEREC. До них також було застосовано методи нормалізації як Max, Max-Min, суми, векторний, логарифмічний та з методу WASPAS. Через відсутність доступу до необроблених оцінок експертів, було запропоновано власний метод фазифікації чітких оцінок університетів. Останнім досліджуваним параметром методу Fuzzy MARCOS став метод дефазифікації, було розглянуто такі методи як медіана, центроїд та метод Мінковського.

Використовуючи технологію Windows Forms було розроблено програмну реалізацію методу Fuzzy MARCOS для формування рейтингу університетів, що дозволяє користувачу налаштовувати параметри методу під власні данні.

Дана програма має перспективи для подальшої розробки при розширенні списку параметрів, які можна налаштовувати. Розроблений застосунок має потенціал для впровадження через свою легкість використання та невибагливі системні вимоги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про вищу освіту» (від 1 липня 2014 року № 1556-VII, Редакція від 28.09.2017). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 23.11.2021).
2. Times Higher Education World University Rankings. URL: https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2022/world-ranking#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/scores (дата звернення: 24.11.2021).
3. Academic Ranking of World Universities. URL: <http://www.shanghairanking.com/rankings/arwu/2021> (дата звернення: 25.11.2021).
4. Quacquarelli Symonds World University Rankings. URL: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2021> (дата звернення: 25.11.2021).
5. Center for World University Rankings. URL: <https://cwur.org/2021-22.php> (дата звернення: 26.11.2021).
6. N.K., S., Mathew K., S. and Cherukodan, S. (2018), "Impact of scholarly output on university ranking", *Global Knowledge, Memory and Communication*, Vol. 67 No. 3, pp. 154-165. <https://doi.org/10.1108/GKMC-11-2017-0087>.
7. O. Loyola-González, M. A. Medina-Pérez, R. A. C. Valdez and K. -K. R. Choo, "A Contrast Pattern-Based Scientometric Study of the QS World University Ranking," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 206088-206104, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3037665.
8. Hossain, M.N. and Ahmed, S.M.Z. (2020), "Use of scholarly communication and citation-based metrics as a basis for university ranking in developing country perspective", *Global Knowledge, Memory and Communication*, Vol. 69 No. 6/7, pp. 461-482. <https://doi.org/10.1108/GKMC-09-2019-0112>.
9. Heffernan, TA, Heffernan, A. Language games: University responses to ranking metrics. *Higher Educ Q.* 2018; 72: 29– 39. <https://doi.org/10.1111/hequ.12139>.

10. Ya-Wen Hou, W. James Jacob, "What contributes more to the ranking of higher education institutions? A comparison of three world university rankings", *The International Education Journal: Comparative Perspectives* Vol. 16, No. 4, 2017, pp. 29-46. <https://openjournals.library.sydney.edu.au/index.php/IEJ>.
11. Shan, Y.G., Zhang, J., Alam, M. and Hancock, P. (2021), "Does sustainability reporting promote university ranking? Australian and New Zealand evidence", *Meditari Accountancy Research*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/MEDAR-11-2020-1060>.
12. Uslu, Baris. "A path for ranking success: what does the expanded indicator-set of international university rankings suggest?", *Higher Education* (00181560), Nov2020, Vol. 80 Issue 5, p949-972. 24p.
13. Jin Liu, Songyue Lin, Manling Wu, Wenjing Lyu "Winning and Losing Relationship: A New Method of University Ranking in the Case of Countries along the Belt and Road." *Complexity* 2021 (2021). <https://doi.org/10.1155/2021/8811668>.
14. Solomon Arulraj David "The relationship between the third mission and university ranking: exploring the outreach of the top ranked universities in BRICS countries." *Innovation* 3.3 (2019): 1-21.
15. Pozzi, F., Manganello, F., Passarelli, M., Persico, D., Brasher, A., Holmes, W., Whitelock, D. & Sangrà, A. (2019). Ranking Meets Distance Education: Defining Relevant Criteria and Indicators for Online Universities. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 20(5), 42–63. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v20i5.4391>.
16. Anand, M. Clement & Bharatraj, Janani. (2017). Theory of Triangular Fuzzy Number.
17. Stanković M, Stević Ž, Das DK, Subotić M, Pamučar D. A New Fuzzy MARCOS Method for Road Traffic Risk Analysis. *Mathematics*. 2020; 8(3):457. <https://doi.org/10.3390/math8030457>.
18. Deepa, N.; Ganesan, K.; Srinivasan, K.; Chang, C.Y. Realizing sustainable development via modified integrated weighting MCDM model for ranking agrarian dataset. *Sustainability* 2019, 11, 6060.

19. Odu, G. Weighting methods for multi-criteria decision making technique. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* 2019, 23, 1449–145.
20. Liu, L.; Zhou, J.; An, X.; Zhang, Y.; Yang, L. Using Fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in Three Gorges region, China. *Expert Syst. Appl.* 2010, 37, 2517–2521.
21. Yalçın, N.; Ünlü, U. A multi-criteria performance analysis of Initial Public Offering (IPO) firms using CRITIC and VIKOR methods. *Technol. Econ. Dev. Econ.* 2018, 24, 534–560.
22. Keshavarz-Ghorabae, M.; Amiri, M.; Zavadskas, E.K.; Turskis, Z.; Antucheviciene, J. Determination of Objective Weights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MERECE). *Symmetry* 2021, 13, 525. <https://doi.org/10.3390/sym13040525>.
23. A. Celen, “Comparative Analysis of Normalization Procedures in TOPSIS Method: With an Application to Turkish Deposit Banking Market,” *INFORMATICA*, vol. 25, no. 2, pp. 185–208, 2014.
24. A. Jahan and K. L. Edwards, “A state-of-the-art survey on the influence of normalization techniques in ranking: Improving the materials selection process in engineering design,” *Mater. Des.*, vol. 65, no. 2015, pp. 335–342, 2014.
25. Zavadskas, EK, Turskis, Z, Antucheviciene, J, et al. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronikairelektrotechnika* 2012; 122(6): 3–6.
26. Kayalvizhi, S., Gunasekar and Thenmozhi 2016. Evaluation on aggregation risk rate for defuzzification in Fuzzy sets. *IJRDO - Journal of Computer Science Engineering* (ISSN: 2456-1843). 2, 11 (Nov. 2016), 01-06.
27. Hoehle U 1980 Minkowski Functionals of L-Fuzzy Sets in Fuzzy Sets pp 11-14 (United States: Springer).
28. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення правового регулювання дистанційної, надомної роботи та роботи із застосуванням гнучкого режиму робочого часу: Закон України від 04.02.2021 №

1213 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1213-20#top> (дата звернення: 01.02.2022).

29. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

30. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: наказ міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (дата звернення: 31.01.2022).

31. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

32. Про затвердження державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови: наказ міністерства охорони здоров'я України від 22.02.2019 № 463 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19> (дата звернення: 01.02.2022).

33. Про затвердження державних санітарних правил та норм захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: наказ міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 № 239 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#n13> (дата звернення: 01.01.2022).

34. Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів: наказ міністерства охорони здоров'я України від 18.12.2002 № 476 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#Text> (дата звернення: 01.02.2022).

35. Піддубний В.О., Товкач І.О. Елементна база радіоелектронної апаратури основи мікроелектроніки: навч. посіб. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2021. 119 с.

36. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.

37. Міллер, О. В., Парубок, О. М., Харчук, А. І. Організація пожежно-профілактичної роботи: навч. посіб. Львів: ЛДУБЖД, 2009. 153с.

38. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: наказ міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> (дата звернення: 01.01.2022).

39. Загроза військового вторгнення Росії в Україну. Вебсайт URL: <http://www.eco-live.com.ua> (дата звернення: 01.02.2022).

40. Безпека життєдіяльності / О. І. Запорожець, Б. Д. Халмурадов, В. І. Применко та ін. – К. : «Центр учбової літератури», 2013. 448 с.

41. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях: Навч. посіб. / В. Є. Гончарук, С. І. Качан, С. М. Орел, В. І. Пуцило; Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2004. 184 с.

42. Дії населення в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру. *Державна служба України з надзвичайних ситуацій* вебсайт. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Diyi-naselennya-v-umovah-nadzvichaynih-situaciy-viyskovogo-harakteru.html> (дата звернення: 02.02.2022).

ДОДАТОК А

Функція побудови початкової матриці та блоку вибору параметрів

```
private void Button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    numCrit = (int)numericUpDown1.Value;
    numAlt = (int)numericUpDown2.Value;

    if (matrix != null)
    {
        if (this.Controls.Contains(matrix))
        {
            this.Controls.Remove(matrix);
        }

        firstRun = false;
    }

    string[] headers = new string[numCrit + 1];
    headers[0] = "Альтернативи";

    criteriaNames = new string[numCrit];
    alternativeNames = new string[numAlt];

    for (int i = 1; i < headers.Length; i++)
    {
        headers[i] = "Критерій" + i;
        criteriaNames[i - 1] = "Критерій" + i;
    }

    matrix = CreateTable(headers, new Point(label1.Location.X,
        numericUpDown1.Location.Y + numericUpDown1.Height +
        numericUpDown1.Margin.Vertical * 2));

    for (int i = 0; i < numAlt; i++)
    {
        string[] row = new string[numCrit];
        row[0] = "Альтернатива" + (i + 1);
        alternativeNames[i] = row[0];
        matrix.Rows.Add(row);
    }

    ResizeTable(matrix);
    matrix.Rows[0].Cells[0].ReadOnly = true;
    matrix.CellValueChanged += new
DataGridViewCellEventHandler(CheckIfCriteriaNameChange);
    matrix.MouseClick += new MouseEventArgs(Context_MouseClick);

    ///create radiogroup
    if (choicesParent == null)
    {
        choicesParent = new FlowLayoutPanel();
        choicesParent.FlowDirection = FlowDirection.LeftToRight;
        choicesParent.AutoSize = true;
        choicesParent.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
        this.Controls.Add(choicesParent);
    }

    if (criteriaWeightsChoice == null)
    {
        criteriaWeightsChoice = new FlowLayoutPanel();

        choicesParent.Controls.Add(criteriaWeightsChoice);
    }
}
```

```

Label l = new Label
{
    Text = "Спосіб визначення ваг критеріїв",
    Font = new Font(Label.DefaultFont, FontStyle.Bold)
};
l.Width = TextRenderer.MeasureText(l.Text, l.Font).Width;
criteriaWeightsChoice.Controls.Add(l);

for (int i = 0; i < criteriaWeightOptions.Length; i++)
{
    RadioButton r = new RadioButton
    {
        Text = criteriaWeightOptions[i]
    };
    r.Width = TextRenderer.MeasureText(r.Text, r.Font).Width + 20;
    r.CheckedChanged += new EventHandler(RadioCheckedChangeTable);
    criteriaWeightsChoice.Controls.Add(r);

    if (i == 0)
    {
        r.Checked = true;
    }
}

criteriaWeightsChoice.FlowDirection = FlowDirection.TopDown;
criteriaWeightsChoice.AutoSize = true;
criteriaWeightsChoice.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
}
else
{
    ((RadioButton)criteriaWeightsChoice.Controls[1]).Checked = true;

    if (criteriaWeighTable != null)
    {
        if (criteriaWeightsChoice.Controls.Contains(criteriaWeighTable))
        {
            criteriaWeightsChoice.Controls.Remove(criteriaWeighTable);
        }

        criteriaWeighTable = null;
    }
}

if (normalizationChoice == null)
{
    normalizationChoice = new FlowLayoutPanel();
    choicesParent.Controls.Add(normalizationChoice);

    Label l = new Label
    {
        Text = "Спосіб нормалізації при визначенні ваг критеріїв",
        Font = new Font(Label.DefaultFont, FontStyle.Bold)
    };
    l.Width = TextRenderer.MeasureText(l.Text, l.Font).Width;
    normalizationChoice.Controls.Add(l);

    for (int i = 0; i < criteriaNormalizationOptions.Length; i++)
    {
        RadioButton r = new RadioButton
        {
            Text = criteriaNormalizationOptions[i]
        };
        r.Width = TextRenderer.MeasureText(r.Text, r.Font).Width + 20;
    }
}

```

```

        r.CheckedChanged += new EventHandler(RadioChecked);
        normalizationChoice.Controls.Add(r);

        if (i == 0)
        {
            r.Checked = true;
        }
    }

    normalizationChoice.Visible = true;
    normalizationChoice.FlowDirection = FlowDirection.TopDown;
    normalizationChoice.AutoSize = true;
    normalizationChoice.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
}
else
{
    ((RadioButton)normalizationChoice.Controls[1]).Checked = true;
    normalizationChoice.Visible = true;
}

if (defuzzificationChoice == null)
{
    defuzzificationChoice = new FlowLayoutPanel();

    choicesParent.Controls.Add(defuzzificationChoice);
    choicesParent.SetFlowBreak(defuzzificationChoice, true);

    Label l = new Label
    {
        Text = "Спосіб дефазифікації",
        Font = new Font(Label.DefaultFont, FontStyle.Bold)
    };
    l.Width = TextRenderer.MeasureText(l.Text, l.Font).Width;
    defuzzificationChoice.Controls.Add(l);

    for (int i = 0; i < defuzzificationOptions.Length; i++)
    {
        RadioButton r = new RadioButton
        {
            Text = defuzzificationOptions[i]
        };
        r.Width = TextRenderer.MeasureText(r.Text, r.Font).Width + 20;
        r.CheckedChanged += new EventHandler(RadioDefChecked);
        defuzzificationChoice.Controls.Add(r);

        if (i == 0)
        {
            r.Checked = true;
        }
    }

    defuzzificationChoice.FlowDirection = FlowDirection.TopDown;
    defuzzificationChoice.AutoSize = true;
    defuzzificationChoice.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
}
else
{
    ((RadioButton)defuzzificationChoice.Controls[1]).Checked = true;
}

choicesParent.Location = new Point(matrix.Location.X, matrix.Location.Y +
matrix.Height + matrix.Margin.Vertical * 2);

matrix.RowHeightChanged += new DataGridViewRowEventHandler(ChangeSubMenuPos);

```

```

        if (firstRun)
        {
            OnCriteriaNameChange += new
CriteriaNameChangedEventHandler(ChangeCriteriaInWeightTable);
        }

        //Calc button
        if (firstRun)
        {
            button = new Button
            {
                Text = "Розрахувати/Перерахувати"
            };
            button.Width = TextRenderer.MeasureText(button.Text, button.Font).Width;
            button.Click += new EventHandler(Button_Click);
            this.Controls.Add(button);
        }

        void ChangeButtonPos(object s, EventArgs arg)
        {
            button.Location = new Point(choicesParent.Location.X, choicesParent.Location.Y
+ choicesParent.Height + choicesParent.Margin.Vertical * 2);
        }

        ChangeButtonPos(null, null);

        if (endMatrix != null)
        {
            if (this.Controls.Contains(endMatrix))
            {
                this.Controls.Remove(endMatrix);
            }
        }

        if (endNormalized != null)
        {
            if (this.Controls.Contains(endNormalized))
            {
                this.Controls.Remove(endNormalized);
            }
        }

        if (endWeighted != null)
        {
            if (this.Controls.Contains(endWeighted))
            {
                this.Controls.Remove(endWeighted);
            }
        }

        if (normLabel != null)
        {
            if (this.Controls.Contains(normLabel))
            {
                this.Controls.Remove(normLabel);
            }
        }

        if (weightedLabel != null)
        {
            if (this.Controls.Contains(weightedLabel))
            {
                this.Controls.Remove(weightedLabel);
            }
        }
    }

```

```
    if (firstRun)
    {
        choicesParent.Resize += new EventHandler(ChangeButtonPos);
        choicesParent.LocationChanged += new EventHandler(ChangeButtonPos);
        OnCriteriaNameChange += new
CriteriaNameChangedEventHandler(ChangeCriteriaInEndTable);
        OnAlternativeNameChange += new
CriteriaNameChangedEventHandler(ChangeAlternativeInEndTable);
    }
}
```


ДОДАТОК Б

Функція побудови фінальних матриць

```
private void Button_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (endMatrix != null)
    {
        if (this.Controls.Contains(endMatrix))
        {
            this.Controls.Remove(endMatrix);
        }
    }

    if (endNormalized != null)
    {
        if (this.Controls.Contains(endNormalized))
        {
            this.Controls.Remove(endNormalized);
        }
    }

    if (endWeighted != null)
    {
        if (this.Controls.Contains(endWeighted))
        {
            this.Controls.Remove(endWeighted);
        }
    }

    if (normLabel != null)
    {
        if (this.Controls.Contains(normLabel))
        {
            this.Controls.Remove(normLabel);
        }
    }

    if (weightedLabel != null)
    {
        if (this.Controls.Contains(weightedLabel))
        {
            this.Controls.Remove(weightedLabel);
        }
    }

    string[] headers = new string[numCrit + 1];
    headers[0] = "";

    for (int i = 1; i < headers.Length; i++)
    {
        headers[i] = criteriaNames[i - 1];
    }

    Button b = sender as Button;
    endMatrix = CreateTable(headers, new Point(b.Location.X,
        b.Location.Y + b.Height + b.Margin.Vertical * 2));
    endMatrix.ReadOnly = true;

    if (normLabel == null)
    {
        normLabel = new Label
        {
```

```

        Text = "Normalized matrix",
        TextAlign = ContentAlignment.MiddleCenter
    };

    normLabel.Font = new Font(normLabel.Font, FontStyle.Bold);
}

if (weightedLabel == null)
{
    weightedLabel = new Label
    {
        Text = "Weighted matrix",
        TextAlign = ContentAlignment.MiddleCenter
    };

    weightedLabel.Font = new Font(weightedLabel.Font, FontStyle.Bold);
}

endNormalized = CreateTable(headers, new Point(endMatrix.Location.X,
    endMatrix.Location.Y + endMatrix.Height + endMatrix.Margin.Vertical * 2));
endNormalized.ReadOnly = true;
string[] nheaders = new string[headers.Length + 8];
Array.Copy(headers, nheaders, headers.Length);
nheaders[0] = "Альтернативи";
nheaders[nheaders.Length - 8] = "S";
nheaders[nheaders.Length - 7] = "K-";
nheaders[nheaders.Length - 6] = "K+";
nheaders[nheaders.Length - 5] = "T";
nheaders[nheaders.Length - 4] = "F(K+)";
nheaders[nheaders.Length - 3] = "F(K-)";
nheaders[nheaders.Length - 2] = "F(K)";
nheaders[nheaders.Length - 1] = "Rank";
endWeighted = CreateTable(nheaders,
    new Point(endNormalized.Location.X,
        endNormalized.Location.Y + endNormalized.Height +
endNormalized.Margin.Vertical * 2));
endWeighted.ReadOnly = true;
double[][] matrixValues = new double[numAlt][];

    for (int i = 0; i < matrixValues.Length; i++)
    {
        matrixValues[i] = new double[numCrit];

        for (int j = 0; j < matrixValues[i].Length; j++)
        {
            matrixValues[i][j] = Double.Parse(((string)matrix.Rows[i + 1].Cells[j
+ 1].Value).Replace('.', ','));
        }
    }

double[] weights = new double[numCrit];

switch (checkedButton)
{
    case 0:
    {
        ///Standard Deviation
        double[] q = null;

        switch (checkNormalization)
        {
            case 0:
            {
                q = StandartDeviation(matrixValues);
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

        }
        case 1:
        {
            q = StandartDeviation(NormalizeMatrixMax(matrixValues));
            break;
        }
        case 2:
        {
            q =
StandartDeviation(NormalizeMatrixMaxMin(matrixValues));
            break;
        }
        case 3:
        {
            q = StandartDeviation(NormalizeMatrixBySum(matrixValues));
            break;
        }
        case 4:
        {
            q =
StandartDeviation(NormalizeMatrixByVector(matrixValues));
            break;
        }
        case 5:
        {
            q = StandartDeviation(NormalizeMatrixByLn(matrixValues));
            break;
        }
        case 6:
        {
            q =
StandartDeviation(NormalizeMatrixWASPAS(matrixValues));
            break;
        }
    }

    double sumQ = 0;

    for (int i = 0; i < q.Length; i++)
    {
        sumQ += q[i];
    }

    for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
    {
        weights[i] = q[i] / sumQ;
    }

    break;
}
case 1:
{
    //Statistical Variance
    double[] f = null;

    switch (checkNormalization)
    {
        case 0:
        {
            f = Variance(matrixValues);
            break;
        }
        case 1:
        {
            f = Variance(NormalizeMatrixMax(matrixValues));

```

```

        break;
    }
    case 2:
    {
        f = Variance(NormalizeMatrixMaxMin(matrixValues));
        break;
    }
    case 3:
    {
        f = Variance(NormalizeMatrixBySum(matrixValues));
        break;
    }
    case 4:
    {
        f = Variance(NormalizeMatrixByVector(matrixValues));
        break;
    }
    case 5:
    {
        f = Variance(NormalizeMatrixByLn(matrixValues));
        break;
    }
    case 6:
    {
        f = Variance(NormalizeMatrixWASPAS(matrixValues));
        break;
    }
}
double sumF = 0;

for (int i = 0; i < f.Length; i++)
{
    sumF += f[i];
}

for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
{
    weights[i] = f[i] / sumF;
}

break;
}
case 2:
{
    //entropy

    double[][] p = null;

    switch (checkNormalization)
    {
        case 0:
        {
            p = NormalizeMatrixBySum(matrixValues);
            break;
        }
        case 1:
        {
            p = NormalizeMatrixMax(matrixValues);
            break;
        }
        case 2:
        {
            p = NormalizeMatrixMaxMin(matrixValues);
            break;
        }
    }
}

```

```

        case 3:
        {
            p = NormalizeMatrixBySum(matrixValues);
            break;
        }
        case 4:
        {
            p = NormalizeMatrixByVector(matrixValues);
            break;
        }
        case 5:
        {
            p = NormalizeMatrixByLn(matrixValues);
            break;
        }
        case 6:
        {
            p = NormalizeMatrixWASPAS(matrixValues);
            break;
        }
    }

    double[] sumP = new double[numCrit];

    for (int i = 0; i < p.Length; i++)
    {
        for (int j = 0; j < p[i].Length; j++)
        {
            if (p[i][j] != 0)
            {
                if (i == 0)
                {
                    sumP[j] = p[i][j] * Math.Log(p[i][j]);
                }
                else
                {
                    sumP[j] += p[i][j] * Math.Log(p[i][j]);
                }
            }
        }
    }
    double[] E = new double[numCrit];
    double sumE = 0;
    double min = 1000;

    for (int i = 0; i < E.Length; i++)
    {
        E[i] = -sumP[i] / Math.Log(numAlt);
        sumE += -Math.Abs(1 - E[i]);
    }

    for (int i = 0; i < E.Length; i++)
    {
        weights[i] = -Math.Abs(1 - E[i]) / sumE;
    }

    break;
}

case 3:
{
    //Criteria importance through inter-criteria(CRITIC)
    double[][] p = null;

```

```

switch (checkNormalization)
{
    case 0:
    {
        p = NormalizeMatrixMaxMin(matrixValues);
        break;
    }
    case 1:
    {
        p = NormalizeMatrixMax(matrixValues);
        break;
    }
    case 2:
    {
        p = NormalizeMatrixMaxMin(matrixValues);
        break;
    }
    case 3:
    {
        p = NormalizeMatrixBySum(matrixValues);
        break;
    }
    case 4:
    {
        p = NormalizeMatrixByVector(matrixValues);
        break;
    }
    case 5:
    {
        p = NormalizeMatrixByLn(matrixValues);
        break;
    }
    case 6:
    {
        p = NormalizeMatrixWASPAS(matrixValues);
        break;
    }
}
double[] v = new double[matrixValues[0].Length];
double[] pAvr = Avr(p);
double[] stdDev = StandartDeviation(p);

for (int j = 0; j < v.Length; j++)
{
    for (int k = 0; k < v.Length; k++)
    {
        double sum1 = 0, sum2 = 0, sum3 = 0;

        for (int i = 0; i < p.Length; i++)
        {
            sum1 += (p[i][j] - pAvr[j]) * (p[i][k] - pAvr[k]);
            sum2 += Math.Pow(p[i][j] - pAvr[j], 2);
            sum3 += Math.Pow(p[i][k] - pAvr[k], 2);
        }

        v[j] += 1 - sum1 / Math.Sqrt(sum2 * sum3);
    }
}

double sum = 0;

for (int i = 0; i < v.Length; i++)
{
    stdDev[i] *= v[i];
    sum += stdDev[i];
}

```

```

    }

    for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
    {
        weights[i] = stdDev[i] / sum;
    }

    break;
}
case 4:
{
    //MEREC
    double[][] p = null;

    switch (checkNormalization)
    {
        case 0:
        {
            p = NormalizeMatrixWASPAS(matrixValues, false);
            break;
        }
        case 1:
        {
            p = NormalizeMatrixMax(matrixValues, false);
            break;
        }
        case 2:
        {
            p = NormalizeMatrixMaxMin(matrixValues, false);
            break;
        }
        case 3:
        {
            p = NormalizeMatrixBySum(matrixValues, false);
            break;
        }
        case 4:
        {
            p = NormalizeMatrixByVector(matrixValues, false);
            break;
        }
        case 5:
        {
            p = NormalizeMatrixByLn(matrixValues, false);
            break;
        }
        case 6:
        {
            p = NormalizeMatrixWASPAS(matrixValues, false);
            break;
        }
    }

    double[] Smerec = new double[numAlt];

    for (int i = 0; i < p.Length; i++)
    {
        for (int j = 0; j < p[i].Length; j++)
        {
            if (p[i][j] != 0)
            {
                Smerec[i] += Math.Abs(Math.Log(p[i][j]));
            }
        }
    }
}

```

```

for (int i = 0; i < p.Length; i++)
{
    Smerec[i] = Math.Log(1+Smerec[i]/numCrit);
}

double[][] SmerecShtrih = new double[p.Length][];

for (int i = 0; i < p.Length; i++)
{
    SmerecShtrih[i] = new double[p[0].Length];

    for (int j = 0; j < p[i].Length; j++)
    {
        for(int k = 0; k < p[i].Length; k++)
        {
            if (k != j)
            {
                if (p[i][k] != 0)
                {
                    SmerecShtrih[i][j] += Math.Abs(Math.Log(p[i][k]));
                }
            }
        }

        SmerecShtrih[i][j] = Math.Log(1 + SmerecShtrih[i][j] / numCrit);
    }
}

double[] E = new double[numCrit];
double sumE = 0;

for (int i = 0; i < SmerecShtrih.Length; i++)
{
    for(int j=0;j< SmerecShtrih[0].Length; j++)
    {
        E[j] += Math.Abs(SmerecShtrih[i][j] - Smerec[i]);

        if(i== SmerecShtrih.Length - 1)
        {
            sumE += E[j];
        }
    }
}

for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
{
    weights[i] = E[i] / sumE;
}

break;
}
case 5:
{
    ///Вручну
    double sum = 0;

    for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
    {
weights[i] = Double.Parse((string)criteriaWeighTable.Rows[1].Cells[i + 1].Value);
        sum += weights[i];
    }

    for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
    {

```



```

        weights[i] = weights[i] / sum;
    }

    break;
}

string[] r = new string[numCrit + 1];
r[0] = "Альтернативи\Ваги";

for (int i = 0; i < weights.Length; i++)
{
    r[i + 1] = Math.Round(weights[i], 3) + "";
}

endMatrix.Rows.Add(r);
endMatrix.Rows[1].Cells[0].Style.Font = new Font(endMatrix.Font, FontStyle.Bold);

void ChangeNormTextWidth(object s, EventArgs arg)
{
    normLabel.Width = endNormalized.Width;
}

void ChangeWeightTextWidth(object s, EventArgs arg)
{
    weightedLabel.Width = endWeighted.Width;
}
endNormalized.ColumnWidthChanged += new
DataGridViewColumnEventHandler(ChangeNormTextWidth);
endWeighted.ColumnWidthChanged += new
DataGridViewColumnEventHandler(ChangeWeightTextWidth);

endNormalized.Rows.Add(r);
endNormalized.Rows[1].Cells[0].Style.Font = new Font(endNormalized.Font,
FontStyle.Bold);
valueMatrix = new double[numAlt][][];

//define scale
double[][] fNum = new double[termNum][];

for (int i = 0; i < fNum.Length; i++)
{
    fNum[i] = new double[3];

    for (int j = 0; j < fNum[i].Length; j++)
    {
        if (i == 0)
        {
            if (j < fNum[i].Length - 1)
            {
                fNum[i][j] = 1;
            }
            else
            {
                fNum[i][j] = 1 + (100.0 - 1) / (termNum - 1);
            }
        }
        else
        {
            if (j < fNum[i].Length - 1)
            {
                fNum[i][j] = fNum[i - 1][j + 1];
            }
        }
    }
}

```

```

else
{
    if (i < fNum.Length - 1)
    {
        fNum[i][j] = fNum[i - 1][j] + (100.0 - 1) / (termNum - 1);
    }
    else
    {
        fNum[i][j] = 100;
    }
}
}
}
}

double[][] ai = new double[numCrit][[]], id = new double[numCrit][[]];

for (int i = 0; i < numAlt; i++)
{
    r[0] = alternativeNames[i];

    //fuzification
    valueMatrix[i] = new double[numCrit][[]];

    for (int j = 0; j < valueMatrix[i].Length; j++)
    {
        valueMatrix[i][j] = new double[3];
        double sVM;
        double maxM = 0;
        int indMax = 0;

        if (i == 0)
        {
            ai[j] = new double[3];
            id[j] = new double[3];
        }

        for (int k = 0; k < termNum; k++)
        {
            if (matrixValues[i][j] >= fNum[k][0] && matrixValues[i][j] <=
fNum[k][1])
            {
                sVM = (matrixValues[i][j] - fNum[k][0]) / (fNum[k][1] -
fNum[k][0]);
            }
            else if (matrixValues[i][j] >= fNum[k][1] && matrixValues[i][j] <=
fNum[k][2])
            {
                sVM = (fNum[k][2] - matrixValues[i][j]) / (fNum[k][2] -
fNum[k][1]);
            }
            else
            {
                sVM = 0;
            }

            if (k == 0)
            {
                maxM = sVM;
            }
            else
            {
                if (maxM <= sVM)
                {
                    maxM = sVM;
                }
            }
        }
    }
}
}
}

```

```

        indMax = k;
    }
}
}
r[j + 1] = "(";
for (int k = 0; k < valueMatrix[i][j].Length; k++)
{
    if (maxM == 0)
    {
        valueMatrix[i][j][k] = fNum[0][k];
    }
    else
    {
        valueMatrix[i][j][k] = fNum[indMax][k];
    }

    if (i == 0)
    {
        ai[j][k] = valueMatrix[i][j][k];
        id[j][k] = valueMatrix[i][j][k];
    }
    else
    {
        ai[j][k] = valueMatrix[i][j][k] < ai[j][k] ? valueMatrix[i][j][k]
: ai[j][k];
        id[j][k] = valueMatrix[i][j][k] > id[j][k] ? valueMatrix[i][j][k]
: id[j][k];
    }

    r[j + 1] += valueMatrix[i][j][k];
    if (k < valueMatrix[i][j].Length - 1)
    {
        r[j + 1] += "\u00A0";
    }
}
r[j + 1] += ")";
}

endMatrix.Rows.Add(r);
}

void ChangeNextTablePos(object s, EventArgs arg)
{
    normLabel.Location = new Point(endMatrix.Location.X, endMatrix.Location.Y +
endMatrix.Height + endMatrix.Margin.Vertical * 2);
    endNormalized.Location = new Point(endMatrix.Location.X, normLabel.Location.Y
+ normLabel.Height + normLabel.Margin.Vertical * 2);
    weightedLabel.Location = new Point(endMatrix.Location.X,
endNormalized.Location.Y + endNormalized.Height + endNormalized.Margin.Vertical * 2);
    endWeighted.Location = new Point(endMatrix.Location.X,
weightedLabel.Location.Y + weightedLabel.Height + weightedLabel.Margin.Vertical * 2);
}

endMatrix.RowHeightChanged += new DataGridViewRowEventHandler(ChangeNextTablePos);

r[0] = "AI";
for (int j = 0; j < ai.Length; j++)
{
    r[j + 1] = "(";

    for (int k = 0; k < ai[j].Length; k++)

```

```

    {
        r[j + 1] += ai[j][k];

        if (k < ai[j].Length - 1)
        {
            r[j + 1] += ";\\u00A0";
        }
    }

    r[j + 1] += ")";
}

endMatrix.Rows.Add(r);

r[0] = "ID";

for (int j = 0; j < id.Length; j++)
{
    r[j + 1] = "(";

    for (int k = 0; k < id[j].Length; k++)
    {
        r[j + 1] += id[j][k];

        if (k < id[j].Length - 1)
        {
            r[j + 1] += ";\\u00A0";
        }
    }

    r[j + 1] += ")";
}

endMatrix.Rows.Add(r);

double[][][] normMatrix = new double[valueMatrix.Length][][];

for (int i = 0; i < normMatrix.Length; i++)
{
    r[0] = alternativeNames[i];
    normMatrix[i] = new double[valueMatrix[i].Length][];

    for (int j = 0; j < normMatrix[i].Length; j++)
    {
        r[j + 1] = "(";
        normMatrix[i][j] = new double[valueMatrix[i][j].Length];

        for (int k = 0; k < normMatrix[i][j].Length; k++)
        {
            normMatrix[i][j][k] = valueMatrix[i][j][k] / id[j][id[j].Length - 1];

            r[j + 1] += Math.Round(normMatrix[i][j][k], 3);
            if (k < normMatrix[i][j].Length - 1)
            {
                r[j + 1] += ";\\u00A0";
            }
        }

        r[j + 1] += ")";
    }

    endNormalized.Rows.Add(r);
}

r[0] = "AI";

```

```

for (int j = 0; j < ai.Length; j++)
{
    r[j + 1] = "(";

    for (int k = 0; k < ai[j].Length; k++)
    {
        ai[j][k] /= id[j][id[j].Length - 1];
        r[j + 1] += Math.Round(ai[j][k], 3);

        if (k < ai[j].Length - 1)
        {
            r[j + 1] += "; \u00A0";
        }
    }

    r[j + 1] += ")";
}

endNormalized.Rows.Add(r);

r[0] = "ID";

for (int j = 0; j < id.Length; j++)
{
    r[j + 1] = "(";

    for (int k = 0; k < id[j].Length; k++)
    {
        id[j][k] /= id[j][id[j].Length - 1];
        r[j + 1] += Math.Round(id[j][k], 3);

        if (k < id[j].Length - 1)
        {
            r[j + 1] += "; \u00A0";
        }
    }

    r[j + 1] += ")";
}

endNormalized.Rows.Add(r);

double[][] S = new double[numAlt + 2][];

double[][] w = null;

for (int i = 0; i < normMatrix.Length; i++)
{
    S[i] = new double[normMatrix[i][0].Length];

    for (int j = 0; j < normMatrix[i].Length; j++)
    {
        for (int k = 0; k < normMatrix[i][j].Length; k++)
        {
            if (!test2)
            {
                normMatrix[i][j][k] *= weights[j];
            }
            else
            {
                normMatrix[i][j][k] *= w[j][k];
            }
            S[i][k] += normMatrix[i][j][k];
        }
    }
}

```

```

    }
}

S[S.Length - 2] = new double[normMatrix[0][0].Length];
S[S.Length - 1] = new double[normMatrix[0][0].Length];

for (int j = 0; j < ai.Length; j++)
{
    for (int k = 0; k < ai[j].Length; k++)
    {
        ai[j][k] *= weights[j];
        id[j][k] *= weights[j];
        S[S.Length - 2][k] += ai[j][k];
        S[S.Length - 1][k] += id[j][k];
    }
}

double[][] Kminus = new double[numAlt][], Kplus = new double[numAlt][], T = new
double[numAlt][];
double[] D = new double[S[0].Length];

for (int i = 0; i < S.Length - 2; i++)
{
    Kminus[i] = new double[S[i].Length];
    Kplus[i] = new double[S[i].Length];
    T[i] = new double[S[i].Length];

    for (int j = 0; j < Kminus[i].Length; j++)
    {
        double verh = S[i][j], niz = S[S.Length - 2][Kminus[i].Length - 1 - j];
        Kminus[i][j] = S[i][j] / S[S.Length - 2][Kminus[i].Length - 1 - j];
        Kplus[i][j] = S[i][j] / S[S.Length - 1][Kminus[i].Length - 1 - j];
        T[i][j] = Kminus[i][j] + Kplus[i][j];

        if (i == 0)
        {
            D[j] = T[i][j];
        }
        else
        {
            D[j] = D[j] > T[i][j] ? D[j] : T[i][j];
        }
    }
}

double Dcrisp = DefuzzifyTriangular(D);
double[][] Fplus = new double[numAlt][], Fminus = new double[numAlt][];
double[] FK = new double[numAlt];

for (int i = 0; i < S.Length - 2; i++)
{
    Fplus[i] = new double[S[i].Length];
    Fminus[i] = new double[S[i].Length];

    for (int j = 0; j < Kminus[i].Length; j++)
    {
        Fplus[i][j] = Kminus[i][j] / Dcrisp;
        Fminus[i][j] = Kplus[i][j] / Dcrisp;
    }

    double FplusCrisp = DefuzzifyTriangular(Fplus[i]), FminusCrisp =
DefuzzifyTriangular(Fminus[i]);

    FK[i] = (DefuzzifyTriangular(Kplus[i]) +
DefuzzifyTriangular(Kminus[i])) / (1 + (1 - FplusCrisp) / FplusCrisp +

```

```

        (1 - FminusCrisp) / FminusCrisp);
    }

    double[] sorted = FK.OrderByDescending(x => x).ToArray();
    int[] ranks = FK.Select(x => Array.IndexOf(sorted, x) + 1).ToArray();

    r = new string[endWeighted.ColumnCount];

    for (int i = 0; i < normMatrix.Length; i++)
    {
        r[0] = alternativeNames[i];

        for (int j = 0; j < normMatrix[i].Length; j++)
        {
            r[j + 1] = "(";

            for (int k = 0; k < normMatrix[i][j].Length; k++)
            {
                r[j + 1] += Math.Round(normMatrix[i][j][k], 3);
                if (k < normMatrix[i][j].Length - 1)
                {
                    r[j + 1] += ";\\u00A0";
                }
            }

            r[j + 1] += ")";
        }

        r[r.Length - 2] = Math.Round(FK[i], 3) + "";
        r[r.Length - 1] = ranks[i] + "";

        for (int j = 3; j < 9; j++)
        {
            r[r.Length - j] = "(";
        }

        for (int j = 0; j < S[i].Length; j++)
        {
            r[r.Length - 8] += Math.Round(S[i][j], 3);
            r[r.Length - 7] += Math.Round(Kminus[i][j], 3);
            r[r.Length - 6] += Math.Round(Kplus[i][j], 3);
            r[r.Length - 5] += Math.Round(T[i][j], 3);
            r[r.Length - 4] += Math.Round(Fplus[i][j], 3);
            r[r.Length - 3] += Math.Round(Fminus[i][j], 3);

            if (j < S[i].Length - 1)
            {
                for (int k = 3; k < 9; k++)
                {
                    r[r.Length - k] += ";\\u00A0";
                }
            }
        }

        for (int j = 3; j < 9; j++)
        {
            r[r.Length - j] += ")";
        }

        endWeighted.Rows.Add(r);
    }

    ChangeNextTablePos(null, null);
    this.Controls.Add(endMatrix);

```

```
this.Controls.Add(normLabel);
this.Controls.Add(endNormalized);
this.Controls.Add(weightedLabel);
this.Controls.Add(endWeighted);

void ChangeTablePos(object s, EventArgs arg)
{
    Control contr = s as Control;
    endMatrix.Location = new Point(contr.Location.X, contr.Location.Y +
    contr.Height + contr.Margin.Vertical * 2);
    normLabel.Location = new Point(endMatrix.Location.X, endMatrix.Location.Y +
    endMatrix.Height + endMatrix.Margin.Vertical * 2);
    endNormalized.Location = new Point(endMatrix.Location.X, normLabel.Location.Y
    + normLabel.Height + normLabel.Margin.Vertical * 2);
}

b.LocationChanged += new EventHandler(ChangeTablePos);
}
```