УДК 74.202

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРАТЕГІЇ ВИБОРУ НАПРЯМІВ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ДИСТАНЦІЙНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ

Тарандушка Л. А., *к.т.н., доцент*
Черкаський державний технологічний університет
бульв. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

У статті запропоновано перший рівень дворівневої математичної моделі стратегії вибору напрямів підготовки студентів дистанційної форми навчання. Вона дозволяє визначати найбільш пріоритетні напрями підготовки студентів дистанційної форми навчання, враховуючи місце розташування вищого навчального закладу, спеціалізацію та науковий рівень викладачів, економічність процесу проведення навчання, прибутковість проведеного навчання, термін навчання, трудомісткість навчання, можливість працевлаштування за обраним напрямом, психологію студента (схильність до запропонованих напрямів), доступність навчання. Ця модель базується на оцінках рівнів відносної важливості кожного критерію.

Ключові слова: *математична модель, дистанційне навчання.*

MATHEMATICAL MODEL OF THE STRATEGY OF THE CHOICE OF E-LEARNING DIRECTIONS OF STUDENTS TRAINING

Tarandushka L. A., *Ph.D, associate professor*
Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

In the article the first level of two-level mathematical model of the strategy of the choice of e-learning directions of students training is offered. It allows to determine the most priority e-learning directions of students training, including the location of a university, the specialization and scientific level of teachers, training process efficiency, profitability, a period of training, labour-intensiveness, employment opportunities after the selected direction, student's psychology, accessibility of training. This model is based on estimates of levels of relative importance of every criterion.

Keywords: *mathematical model, e-learning.*

Постановка проблеми. Протягом останніх років все більшої популярності набирає дистанційна освіта. Ці зміни пов'язані з переходом світової спільноти до інформаційного типу організації освіти. Перехід до нових навчальних технологій диктує новий підхід до організації дистанційної освіти.

Метою статті є застосування дворівневої математичної моделі для вибору оптимальних напрямів підготовки студентів дистанційної форми навчання із використанням множини запропонованих критеріїв.

Аналіз джерел. При математичному моделюванні процесів, для яких характерна багатокритеріальність, класичні методи точного кількісного аналізу задач виявляються недостатніми через слабку структурованість і невизначеність їх параметрів. Вирішенням задач в умовах багатокритеріальності і невизначеності даних займались Алтунін А. Е., Чуклеєв С. Н., Семухін М. В., Крел Л. Д., Риков А. С., Кернс К. Вони пропонують концепцію дворівневого підходу в моделюванні таких процесів. Ця концепція полягає в такому:

1) розробка загальної схеми дворівневого моделювання і вибір чисельних методів її реалізації;

2) розробка моделі нижнього рівня, тобто моделювання початкових даних і параметрів завдання на базі апарату інтервальної математики, теорії ймовірності та математичної статистики, а також фрактального аналізу [1]. Таким чином, на нижньому рівні здійснюється моделювання початкових даних для моделі верхнього рівня;

3) розробка моделі верхнього рівня, тобто формулювання і дослідження векторної задачі з нечіткими або інтервально заданими параметрами, які були отримані на нижньому рівні моделювання. Математична модель верх-

нього рівня – це модель теорії оптимізації, на базі якої будується і обґрунтовується найбільш доцільне рішення поставленої задачі.

Виклад основного матеріалу досліджень. За допомогою дворівневого моделювання здійснимо процес моделювання вибору і прийняття стратегії проведення дистанційного навчання для деякого вищого навчального закладу.

На нижньому рівні моделювання здійснюється структуризація експертної інформації про те, що є у розпорядженні вищого навчального закладу (трудові, технічні ресурси, пріоритети майбутніх студентів). На верхньому рівні моделювання формулюється і досліджується завдання знаходження альтернативних проектів стратегії проведення навчання і вибір кращого з них. Математична постановка цієї задачі являє собою векторну задачу про досконалі поєднання в тридольному триоднорідному гіперграфі.

Моделювання на нижньому рівні

Наприклад, запропоновано чотири напрями для навчання:

1) Автомобільний транспорт.
2) Машинобудування.
3) Теплоенергетика.
4) Інженерна механіка.

Спеціальності вибрані з напрямів підготовки:

1) Автомобілі та автомобільне господарство;
2) Металорізальні верстати та системи;
3) Теплоенергетика;
4) Обробка металів за спецтехнологіями.

На базі вищого навчального закладу скомплектовано чотири колективи викладачів різної кваліфікації. Метою вищого навчального закладу є найбільш якісне задоволення потреби у викладачах з урахуванням напрямів навчання. Таким чином, побудова стратегії ведення навчання базується на векторних оцінках таких трьох вимог:

1) оцінка вузу по виплаті заробітної плати;
2) оцінка переваг колективів відповідно до напрямів;
3) оцінка колективів викладачів згідно з науковими степенями.

На базі кожної з цих векторних оцінок формується інтегральна оцінка відповідно показника привабливості тих, що надаються вищим навчальним закладом (згідно з виплатою заробітної плати) (P), показника їх якості відповідно до напрямів (S) і якісного рівня викладання, яка оцінюється згідно з науковими степенями членів колективу (Q).

Зазначене формування оцінок проводиться викладеним нижче методом аналітичної ієрархії (Analytic Hierarchy Process – AHP), що набув нині значного поширення [2].

Перевагою методу AHP є те, що він може застосовуватися в тих випадках, коли експерти або особи, що приймають рішення, не можуть дати абсолютні оцінки альтернатив по критеріях і користуються слабкішими порівняльними вимірюваннями. На нижньому (першому) рівні ієрархії AHP фахівці навчального відділу вищого навчального закладу (експерти), використовуючи шкалу відносної важливості, попарним порівнянням розставляють коефіцієнти важливості для кожного рівня ієрархії: критерії – альтернативи. Відзначимо, що рівні відносної важливості приведені до числових значень (табл. 1).

Таблиця 1

Шкала відносної важливості

Рівень відносної важливості	Кількісне значення
Рівна важливість	1
Помірна перевага	3
Істотна або сильна перевага	5
Значна велика перевага	7
Дуже велика перевага	9

Далі обчислюються коефіцієнти важливості кожного рівня і підраховується показник якості кожної альтернативи. Опис реалізації етапів методу AHP представимо на конкретному прикладі груп критеріїв, що відносяться до кожної з трьох вимог, і конкретних експертних оцінках рівнів відносної важливості.

Вищий навчальний заклад пропонує увазі майбутніх студентів перелік напрямів для навчання H_j, $j = 1\ldots m$, ($m = 4$):

H_1 – автомобільний транспорт;

H_2 – машинобудування;

H_3 – теплоенергетика;

H_4 – інженерна механіка.

Також визначені критерії вищого навчального закладу:

K_1 – економічність процесу проведення навчання;

K_2 – прибутковість проведеного навчання;

K_3 – термін навчання;

K_4 – трудомісткість навчання.

За допомогою експертів компанії, використовуючи шкалу відносної важливості, заповнюється табл. 2.

Відзначимо, що критерії «прибутковість проведеного навчання K_2» і «трудомісткість навчання K_4» мають для вищого навчального закладу рівну важливість, помірно перевершують за важливістю критерій «економічність для проведення навчання K_1» та істотно перевершують критерій «термін навчання K_3».

Таблиця 2

Матриця порівнянь критеріїв вищого навчального закладу

Критерії	K_1	K_2	K_3	K_4	Власний вектор	Вага w_i
K_1	1	1/3	3	1/3	0,760	0,151
K_2	3	1	5	1	1,968	0,391
K_3	1/3	1	1	1/3	0,340	0,067
K_4	3	1	5	1	1,968	0,391

Для розрахунку коефіцієнтів важливості критеріїв необхідно обчислити власний вектор матриці, обраховуючи корінь n-го ступеня (n – розмірність матриці порівнянь) з добутку елементів кожного рядка, а потім шляхом нормування елементів власного вектора матриці визначаються коефіцієнти важливості або ваги критеріїв w_i, $i = 1,n$.

Так само розраховується відносна важливість v_{ji} кожного напряму H_j по кожному з критеріїв K_i, $j = 1…m$, $i = 1…n$.

Відносну важливість навчання за напрямами по окремих критеріях вищого навчального закладу подано в табл. 3–6.

Таблиця 3

Відносна важливість навчання по критерію K_1 – економічність процесу проведення навчання

Напрями	H_1	H_2	H_3	H_4	Власний вектор	Вага v_{j1}
H_1	1	1/5	3	3	1,16	0,23
H_2	5	1	5	5	3,34	0,65
H_3	1/3	1/5	1	1/3	0,39	0,08
H_4	1/3	1/5	3	1	0,2	0,04

Таблиця 4

Відносна важливість навчання по критерію K_2 – прибутковість проведеного навчання

Напрями	H_1	H_2	H_3	H_4	Власний вектор	Вага v_{j2}
H_1	1	3	5	7	3,20	0,57
H_2	1/3	1	5	3	1,50	0,26
H_3	1/5	1/5	1	1/3	0,34	0,06
H_4	1/7	1/3	3	1	0,61	0,11

Таблиця 5

Відносна важливість навчання по критерію K_3 – термін навчання

Напрями	H_1	H_2	H_3	H_4	Власний вектор	Вага v_{j3}
H_1	1	1/5	3	3	1,16	0,22
H_2	5	1	5	3	2,94	0,57
H_3	1/3	1/5	1	1	0,51	0,10
H_4	1/3	1/3	1	1	0,58	0,11

Таблиця 6

Відносна важливість навчання по критерію K_4 – трудомісткість навчання

Напрями	H_1	H_2	H_3	H_4	Власний вектор	Вага v_{j4}
H_1	1	3	1/5	1/3	0,67	0,12
H_2	1/3	1	1/7	1/5	0,31	0,06
H_3	5	7	1	3	3,20	0,56
H_4	3	5	1/3	1	1,50	0,26

Далі на підставі результатів, представлених в табл. 2–6, здійснюється визначення якості кожної альтернативи. Для цього, використовуючи метод аналітичної ієрархії, необхідно провести синтез отриманих коефіцієнтів важливості. Необхідні обчислення здійснюються за формулою

$$S_j = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot v_{ji}, \qquad (1)$$

де S_i – показник якості j-ї альтернативи;

w_i – вага i -го критерію (див. табл. 2);

v_{ji} – важливість j-ї альтернативи по i-му критерію (див. табл. 3–6).

Для чотирьох варіантів напрямів проведені обчислення дозволяють провести розрахунок показників P_j привабливості напрямів для вищого навчального закладу:

$$P_1 = 0{,}151 \cdot 0{,}23 + 0{,}391 \cdot 0{,}57 + 0{,}067 \cdot 0{,}22 + 0{,}391 \cdot 0{,}12 = 0{,}320,$$

$$P_2 = 0{,}151 \cdot 0{,}65 + 0{,}391 \cdot 0{,}26 + 0{,}067 \cdot 0{,}57 + 0{,}391 \cdot 0{,}06 = 0{,}261,$$

$$P_3 = 0{,}151 \cdot 0{,}08 + 0{,}391 \cdot 0{,}06 + 0{,}067 \cdot 0{,}10 + 0{,}391 \cdot 0{,}56 = 0{,}261, \qquad (2)$$

$$P_4 = 0{,}151 \cdot 0{,}04 + 0{,}391 \cdot 0{,}11 + 0{,}067 \cdot 0{,}11 + 0{,}391 \cdot 0{,}26 = 0{,}158.$$

В результаті опиту і анкетування майбутніх студентів фахівцями вищого навчального закладу (експертами) виділені такі споживчі критерії до представлених напрямів C_i:

C_1 – можливість працевлаштування за обраним напрямом;

C_2 – майбутня заробітна плата;

C_3 – психологія студента (схильність до напряму);

C_4 – доступність навчання (оплата за навчання).

Таблиця 7

Матриця порівнянь споживчих критеріїв C_i

Критерії C_i	C_1	C_2	C_3	C_4	Особистий вектор	Вага, w_i
C_1	1	3	3	5	2,590	0,499
C_2	1/3	1	1	1/5	0,508	0,098
C_3	1/3	1	1	1/7	0,467	0,090
C_4	1/5	5	7	1	1,627	0,313

Критерій «C_1 – можливість працевлаштування за обраним напрямом» істотно перевершує критерій «C_4 – доступність навчання (оплата за навчання)» і помірно перевершує

критерії «C_2 – майбутня заробітна плата)» і «C_3 – психологія студента (схильність до напряму)». У чисельному вигляді ці співвідношення представлені в табл. 7. При цьому розрахунок компонент власного вектора і коефіцієнтів важливості критеріїв, тобто ваги w_i, здійснюється аналогічно описаному вище розрахунку даних табл. 3–6.

Оскільки вищий навчальний заклад може проводити навчання з будь-яких чотирьох напрямів, а сам вищий навчальний заклад може розташовуватися в одному з чотирьох регіонів, то існує L_j, j = 1…16 можливих комбінацій проведення навчання: j = 1 – проведення навчання з напряму «автомобільний транспорт» вищим навчальним закладом, що розташований в столиці; j = 2 – проведення навчання з напряму «автомобільний транспорт» вищим навчальним закладом, що розташований в районному центрі; j = 3 – проведення навчання з напряму «автомобільний транспорт» вищим навчальним закладом, що розташований в обласному центрі; j = 4 – проведення навчання з напряму «автомобільний транспорт» вищим навчальним закладом, що розташований в автономній республіці Крим; j = 5 – проведення навчання з напряму «машинобудування» вищим навчальним закладом, що розташований в столиці; j = 6 – проведення навчання з напряму «машинобудування» вищим навчальним закладом, що розташований в районному центрі; j = 7 – проведення навчання з напряму «машинобудування» вищим навчальним закладом, що розташований в обласному центрі; j = 8 – проведення навчання з напряму «машинобудування» вищим навчальним закладом, що розташований в автономній республіці Крим; j = 9 – проведення навчання з напряму «теплоенергетика» вищим навчальним закладом, що розташований в столиці; j = 10 – проведення навчання з напряму «теплоенергетика» вищим навчальним закладом, що розташований в районному центрі; j = 11 – проведення навчання з напряму «теплоенергетика» вищим навчальним закладом, що розташований в обласному центрі; j = 12 – проведення навчання з напряму «теплоенергетика» вищим навчальним закладом, що розташований в автономній республіці Крим; j = 13 – проведення навчання з напряму «інженерна механіка» вищим навчальним закладом, що розташований в столиці; j = 14 – проведення навчання з напряму «інженерна механіка» вищим навчальним закладом, що розташований в районному центрі; j = 15 – проведення навчання з напряму «інженерна механіка» вищим навчальним закладом, що розташований в обласному центрі; j = 16 – проведення навчання з напряму «інженерна механіка» вищим навчальним закладом, що розташований в автономній республіці Крим;

По аналогії з формуванням попередніх таблиць обчислюємо елементи табл. 8–11, що відображають відносну важливість комбінацій L_j по споживчих критеріях C_i. Відносна важливість проектів по споживчих критеріях представлена в табл. 8–12.

Таблиця 8

Відносна важливість по критерію C_1 – можливість працевлаштування за обраним напрямом

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		v_{j1}
1	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
2	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	0,31	0,01
3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1,50	0,07
4	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	0,67	0,03
5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
6	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	0,31	0,01
7	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1,50	0,07
8	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	0,67	0,03
9	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
10	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	0,31	0,01
11	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1,50	0,07
12	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	0,67	0,03
13	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
14	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	0,31	0,01
15	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1,50	0,07
16	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	0,67	0,03

Таблиця 9

Відносна важливість по критерію C_2 – майбутня заробітна плата

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		v_{j2}
1	1	1/5	1/3	1	1	1/5	3	3	1/5	1/7	1/5	1/3	1/3	1/7	1	1/3	0,46	0,02
2	5	1	7	7	7	3	7	9	3	1/3	1	1	3	1/3	3	5	2,62	0,11
3	3	1/7	1	3	3	1/3	3	5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/7	1/3	1	0,76	0,03
4	1	1/7	1/3	1	1	1/5	1	3	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/7	1/3	1/3	0,37	0,02
5	1	1/7	1/3	1	1	1/5	1	1/3	1/7	1/9	1/7	1/7	1/7	1/9	1/7	1/5	0,26	0,01
6	5	1/3	3	5	5	1	3	5	5	1/3	1	1	3	1/5	1	5	1,77	0,08
7	1/3	1/7	1/3	1	1	1/3	1	3	1	1/5	1/5	1/3	1/3	1/7	1/5	1/3	0,41	0,02
8	1/3	1/9	1/5	1/3	3	1/5	1/3	1	1/5		1/7	1/7	1/5	1/7	1/7	1/7	0,26	0,01
9	5	1/3	3	5	7	1/5	1	3	1	1/5	1/3	1/3	1	1/3	1	1	0,98	0,04
10	7	3	3	5	9	3	5	5	5	1	3	3	3	1	3	5	3,46	0,15
11	5	1	3	7	7	1	5	7	3	1/3	1	3	3	1	3	3	2,48	0,11
12	3	1	3	5	7	1	3	7	3	1/3	1/3	1	1	1/3	1	3	2,32	0,10
13	3	1/3	1	5	7	1/3	3	5	1	1/3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	1,05	0,05
14	7	3	7	7	9	5	7	7	3	1	1	3	3	1	3	5	3,63	0,16
15	1	1/3	3	3	7	1	5	7	1	1/3	1/3	1	3	1/3	1	3	1,41	0,06
16	3	1/5	1	3	5	1/5	3	7	1	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1	0,84	0,04

Таблиця 10

Відносна важливість по критерію C_3 – психологія студента (схильність до напряму)

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		v_{j3}
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	0,38	0,01
9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	1	1	7	7	7	7	4,88	0,18
10	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	1	1	7	7	7	7	4,88	0,18
11	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	1	1	7	7	7	7	4,88	0,18
12	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	1	1	7	7	7	7	4,88	0,18
13	5	5	5	5	5	5	5	5	1/7	1/7	1/7	1/7	1	1	1	1	1,37	0,05
14	5	5	5	5	5	5	5	5	1/7	1/7	1/7	1/7	1	1	1	1	1,37	0,05
15	5	5	5	5	5	5	5	5	1/7	1/7	1/7	1/7	1	1	1	1	1,37	0,05
16	5	5	5	5	5	5	5	5	1/7	1/7	1/7	1/7	1	1	1	1	1,37	0,05

Таблиця 11

Відносна важливість по критерію C_4 – доступність навчання (оплата за навчання)

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		v_{j4}
1	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
2	1/7	1	1/5	1/5	1/7	1	1/5	1/3	1/7	3	1/5	1	1/7	3	1/3	1/3	0,38	0,02
3	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	5	3	3	1/3	7	3	5	1,81	0,08
4	1/5	5	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	5	1	3	1/5	5	1	3	0,97	0,04
5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
6	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	3	1/3	1/3	1/7	3	1/5	1/3	0,37	0,02
7	1/3	5	1	3	1/3	5	1	3	1/3	7	3	5	1/3	7	3	5	1,91	0,08
8	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	1/5	5	1	3	1/5	3	1	3	0,91	0,04

Продовження табл. 11

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		v_{j4}
9	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
10	1/7	1/3	1/5	1/5	1/7	1/3	1/7	1/5	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/5	1/3	0,25	0,01
11	1/3	5	1/3	1	1/3	3	1/3	1	1/3	5	1	3	1/3	5	1/3	1	0,96	0,04
12	1/5	1	1/3	1/3	1/5	3	1/5	1/3	1/5	3	1/3	1	1/5	3	1/3	1	0,53	0,02
13	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	1	7	3	5	3,20	0,14
14	1/7	1/3	1/7	1/5	1/7	1/3	1/7	1/3	1/7	1	1/5	1/3	1/7	1	1/3	1/3	0,26	0,01
15	1/3	3	1/3	1	1/3	5	1/3	1	1/3	5	3	3	1/3	3	1	3	1,14	0,05
16	1/5	3	1/5	1/3	1/5	3	1/5	1/3	1/5	3	1	1	1/5	3	1/3	1	0,59	0,03

Далі з урахуванням даних табл. 7–11 проводиться розрахунок показників споживчої якості S_j напрямів L_j :

$$
\begin{aligned}
&S_1 = 0{,}499\cdot0{,}14 + 0{,}098\cdot0{,}02 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}14 = 0{,}117;\\
&S_2 = 0{,}499\cdot0{,}01 + 0{,}098\cdot0{,}11 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}02 = 0{,}023;\\
&S_3 = 0{,}499\cdot0{,}07 + 0{,}098\cdot0{,}03 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}08 = 0{,}064;\\
&S_4 = 0{,}499\cdot0{,}67 + 0{,}098\cdot0{,}02 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}04 = 0{,}350;\\
&S_5 = 0{,}499\cdot0{,}14 + 0{,}098\cdot0{,}01 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}14 = 0{,}116;\\
&S_6 = 0{,}499\cdot0{,}01 + 0{,}098\cdot0{,}08 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}02 = 0{,}020;\\
&S_7 = 0{,}499\cdot0{,}07 + 0{,}098\cdot0{,}02 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}08 = 0{,}063;\\
&S_8 = 0{,}499\cdot0{,}03 + 0{,}098\cdot0{,}01 + 0{,}09\cdot0{,}01 + 0{,}313\cdot0{,}04 = 0{,}030;\\
&S_9 = 0{,}499\cdot0{,}14 + 0{,}098\cdot0{,}04 + 0{,}09\cdot0{,}18 + 0{,}313\cdot0{,}14 = 0{,}134;\\
&S_{10} = 0{,}499\cdot0{,}01 + 0{,}098\cdot0{,}15 + 0{,}09\cdot0{,}18 + 0{,}313\cdot0{,}01 = 0{,}039;\\
&S_{11} = 0{,}499\cdot0{,}07 + 0{,}098\cdot0{,}11 + 0{,}09\cdot0{,}18 + 0{,}313\cdot0{,}04 = 0{,}075;\\
&S_{12} = 0{,}499\cdot0{,}03 + 0{,}098\cdot0{,}10 + 0{,}09\cdot0{,}18 + 0{,}313\cdot0{,}02 = 0{,}047;\\
&S_{13} = 0{,}499\cdot0{,}14 + 0{,}098\cdot0{,}05 + 0{,}09\cdot0{,}05 + 0{,}313\cdot0{,}14 = 0{,}093;\\
&S_{14} = 0{,}499\cdot0{,}01 + 0{,}098\cdot0{,}16 + 0{,}09\cdot0{,}05 + 0{,}313\cdot0{,}01 = 0{,}029;\\
&S_{15} = 0{,}499\cdot0{,}07 + 0{,}098\cdot0{,}06 + 0{,}09\cdot0{,}05 + 0{,}313\cdot0{,}05 = 0{,}062;\\
&S_{16} = 0{,}499\cdot0{,}03 + 0{,}098\cdot0{,}04 + 0{,}09\cdot0{,}05 + 0{,}313\cdot0{,}03 = 0{,}033.
\end{aligned}
\tag{3}
$$

В результаті проведених розрахунків вищий навчальний заклад приймає рішення не розглядати напрями для підготовки студентів j = 2, 6, 8, 14, 16 як напрями з низьким показником споживчої якості. Таким чином, проведення навчання з напряму «автомобільний транспорт», якщо вищий навчальний заклад розташований у районному центрі, не рекомендується; проведення навчання з напряму «машинобудування», якщо вищий навчальний заклад розташований у районному центрі, не рекомендується; проведення навчання з напряму «машинобудування», якщо вищий навчальний заклад розташований в автономній республіці Крим, не рекомендується; проведення навчання з напряму «інженерна механіка», якщо вищий навчальний заклад розташований в районному центрі, не рекомендується; проведення навчання з напряму «інженерна механіка», якщо вищий навчальний заклад розташований в автономній республіці Крим, не рекомендується.

Якість виконання роботи кожного з чотирьох сформованих у вищому навчальному закладі альтернативних колективів B_j, j =1…4, оцінюється критеріями F_i, i =1…2: F_1 – професіоналізм; F_2 – науковий рівень.

Критерій «професіоналізм (F_1)» відображає те, як колектив планує і організовує свою роботу, якими сучасними технологіями користується, як застосовуються технічні, наукові і професійні знання. Критерій «науковий рівень (F_2)» відображає такий показник, що відповідає певному відсотку викладачів з науковим ступенем [3, 4].

Таблиця 12

Матриця порівнянь критеріїв рівня якості виконання роботи F_i викладачами колективів

Критерії, F_i	F_1	F_2		Вага w_i
F_1	1	3	1,732	0,75
F_2	1/3	1	0,577	0,25

Таблиця 13

Відносна оцінка колективів за критерієм F_1 – професіоналізм

Колективи, B_j	B_1	B_2	B_3	B_4	Особистий вектор	v_{j1}
B_1	1	3	5	7	3,20	0,56
B_2	1/3	1	3	5	1,50	0,26
B_3	1/5	1/3	1	3	0,67	0,12
B_4	1/7	1/5	1/3	1	0,31	0,06

Таблиця 14

Відносна оцінка колективів за критерієм F_2 – науковий рівень

Колективи, B_j	B_1	B_2	B_3	B_4	Особистий вектор	v_{j2}
B_1	1	1/3	1/3	1	0,58	0,13
B_2	3	1	1	3	1,73	0,37
B_3	3	1	1	3	1,73	0,37
B_4	1	1/3	1/3	1	0,58	0,13

З урахуванням даних табл. 12–14 проводиться розрахунок показників щодо якості роботи колективів Q_j, j =1…4, за формулою (1):

$$Q_1 = 0{,}75\cdot 0{,}56 + 0{,}25\cdot 0{,}13 = 0{,}453;$$
$$Q_2 = 0{,}75\cdot 0{,}26 + 0{,}25\cdot 0{,}37 = 0{,}288; \qquad (4)$$
$$Q_3 = 0{,}75\cdot 0{,}12 + 0{,}25\cdot 0{,}37 = 0{,}183;$$
$$Q_4 = 0{,}75\cdot 0{,}06 + 0{,}25\cdot 0{,}13 = 0{,}078.$$

На підставі чисельних значень (2) і (4) визначимо показник якості $R_{jk} = P_j \cdot Q_k$ для навчання студентів за H_j напрямом у разі, коли навчання за j-м напрямом виконується колективом B_k, k=1...4:

R_{11} = 0,320·0,453 = 0,115 – за напрямом «автомобільний транспорт» проводить навчання 1-й колектив;

R_{12} = 0,320·0,288 = 0,092 – за напрямом «автомобільний транспорт» проводить навчання 2-й колектив;

R_{21} = 0,261·0,453 = 0,118 – за напрямом «машинобудування» проводить навчання 1-й колектив;

R_{22} = 0,261·0,288 = 0,075 – за напрямом «машинобудування» проводить навчання 2-й колектив;

R_{33} = 0,261·0,183 = 0,048 – за напрямом «теплоенергетика» проводить навчання 3-й колектив;

R_{34} = 0,261·0,078 = 0,020 – за напрямом «теплоенергетика» проводить навчання 4-й колектив;

R_{43} = 0,158·0,183 = 0,029 – за напрямом «інженерна механіка» проводить навчання 3-й колектив;

R_{44} = 0,158·0,078 = 0,012 – за напрямом «інженерна механіка» проводить навчання 4-й колектив.

Таким чином, при завершенні моделювання на нижньому рівні набуті чисельні значення для таких вхідних даних верхнього рівня моделювання:

- представлені в (3) показники споживчої якості S_j напрямів L_j, j =1…16;
- представлені в (5) показники якості для навчання студентів за H_j напрямом у разі навчання за j-м напрямом з урахуванням колективу B_k, k=1...4, який виконує навчання.

Висновки. Розроблений нижній рівень математичної моделі дозволяє визначати відносні оцінки важливості множини запропонованих критеріїв для вибору найбільш пріоритетних напрямів підготовки студентів дистанційної форми навчання, враховуючи місце

розташування вищого навчального закладу (оскільки дистанційне навчання все одно передбачає поїздки студента до навчального закладу для ідентифікації особи, що навчається), спеціалізацію та науковий рівень викладачів, економічність процесу проведення навчання, прибутковість проведеного навчання, термін навчання, трудомісткість навчання, можливість працевлаштування за обраним напрямом, психологію студента (схильність до запропонованих напрямів), доступність навчання. Ця модель базується на оцінках рівнів відносної важливості кожного критерію.

Список літератури

1. Рыков А. С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации / А. С. Рыков. – М. : Издат. Дом МИСиС, 2009. – 608 с.
2. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991.
3. Савельєва В. С. Організаційна поведінка: навч. посіб. для вищої школи / В. С. Савельєва. – К. : Центр учбової літератури, 2012. – 240 с.
4. Сакович В. А. Исследование операций / В. А. Сакович. – Минск : Вышэйшая школа, 1984. – 256 с.

References

1. Rykov, A. S. (2009) System analysis: models and methods of decision-making and search optimization. Moscow: Publishing House of MISA, 608 p. [in Russian].
2. Saaty, T. & Kerns, K. (1991) Analytical planning. The organization of systems. Moscow: Radio i svyaz’, 1991 [in Russian].
3. Savelyeva, V. S. (2012) Organizational behavior: a textbook for a high school. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literarury, 240 p. [in Ukrainian].
4. Sakovitch, V. A (1984) The research of operations. Minsk: Vysheyshaya Shkola, 256 p. [in Russian].