

Математичні моделі та методи

УДК 518

DOI: 10.30748/soi.2019.157.02

Н.О. Бринза, А.А. Гаврилова

Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Харків

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОЗВИТКУ ІТ-ГАЛУЗИ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

У статті було сформовано тривимірний кортеж показників, який відображає стан ІТ галузі України і враховує інвестиційну привабливість регіонів, внутрішній стан ІТ ринку та заробітну плату. Сформована узагальнена скалярна оцінка якості допустимих рішень для регуляризації багатокритеріальної задачі. За допомогою використання принципів побудови моделі прийняття багатокритеріальних рішень в умовах детермінованих вхідних даних, реалізовано етап синтезу методології прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і інтервальної невизначеності. Побудовано математичну модель стану ІТ галузі в Україні, яка представлена у вигляді комплексного показника. На основі побудованої моделі виконано розрахунки по визначенню оцінки показників стану ІТ галузі. За допомогою кореляційно-регресійного аналізу з'ясовано силу зв'язку між обраними факторами та комплексним показником, а також значність впливу факторів на комплексний показник. За допомогою критерію Фішера було встановлено, що запропонована математична модель є адекватною тим процесам, що описує.

Ключові слова: ІТ-галузь, багатокритеріальність, оптимізація, нормалізація, інвестиційна привабливість, тривимірний кортеж, узагальнена скалярна оцінка якості допустимих рішень, комплексний показник, коефіцієнт кореляції, коефіцієнт детермінації, кореляційно-регресійний аналіз, рівняння множинної регресії.

Вступ

Український ринок ІТ має величезний потенціал до зростання, проте нестабільність податкового регулювання, нестача спеціалістів і низка регуляторних бар'єрів є стримуючими факторами для розвитку галузі. Розробка програмного забезпечення є єдиною експортною галуззю України, що стабільно зростає. Лише за 2018 р. він виріс на 26 %.

Галузь виступає потужним економічним мультиплікатором: 1 робоче місце в ІТ створює ще 3 у суміжних професіях. Заробітна плата ІТ-спеціаліста в 5 разів вища за середню в країні. При цьому високий рівень оплати зберігається не лише в столиці, але й в регіонах.

Але все ж таки спостерігається серйозна нестача молодих спеціалістів, які спроможні вирішувати нові завдання, що постійно з'являються та змінюються. Ця нестача пов'язана з тим, що одночасно існують проблеми як з підготовки конкурентоспроможних спеціалістів профільними навчальними закладами, так й "вимивання" кваліфікованих кадрів не тільки з менш благополучних регіонів в вітчизняні ІТ-центри, а й за межі країни. Отже, проведення аналізу такої ситуації за допомогою сучасних математичних підходів та оцінка впливу виявлених факторів на результат є актуальними.

Метою дослідження в роботі є проведення аналізу стану ІТ-галузі за регіонами України на ос-

нові сформованої моделі експертної оцінки показників, які характеризують дану галузь.

Виклад основного матеріалу

Процеси, що відбуваються на ІТ-ринку праці, важливі і привертають увагу не тільки вчених, але й представників бізнесу. Багато питань щодо прогнозів розвитку, перегріву ІТ-ринку, створення ІТ-кластерів, визначення переваг і недоліків української ІТ-галузі, і багато іншого піднімаються в роботах Р.А. Винничук і Т.В. Склярчук [1], Е. Рубіна [2], в інтерв'ю з представниками українського бізнесу Дариною Стремetskькою [3] та Анною Грабовською [4], ІТ-співтовариством dou і іншими.

Позитивні зміни в ІТ-галузі України пов'язані з появою якісних навчальних ІТ-програм у ВНЗ, привабливі умови праці ІТ-компаній в Україні стрімко збільшують інтерес до галузі серед фахівців різних сфер [5].

Аналітиками спільноти програмістів на сайті dou.ua були розміщені результати опитування експертів (топ-менеджери відомих ІТ-компаній, які працюють в Україні), що працюють в ІТ-бізнесі, яке було спрямоване на виявлення позитивних та негативних факторів ведення ІТ-бізнесу в регіонах України.

На підставі результатів даних опитувань були виділені показники, що характеризують стан ІТ-

галузі (2015-2018 рр.): ІТ-кластер, ВНЗ та ІТ, перегрів ІТ-ринку, вимивання кадрів, авіасполучення, співпраця ІТ-індустрії й місцевої влади, коворкінг, рівень кваліфікації ІТ-кадрів, комфортність проживання та ведення бізнесу, превалювання в напрямку діяльності, близькість до Єврозони, рівень володіння англійською мовою, актуальність знань, придбаних в ВНЗ по ІТ-профілю, конкуренція на ІТ-ринку, близькість до вітчизняних ІТ-центрів, наявність інве-

сторів, попит на ІТ-кадри, кількість профільних ВНЗ, кількість фахівців ІТ-сфери, рівень зарплати [5].

В роботі [5] для кожного показника стану ІТ-галузі були визначені 23 критерії оцінювання, які в свою чергу були розподілені на три категорії: “Інвестиційна привабливість регіонів України”, “Внутрішній стан ІТ-ринку України”, “Заробітна плата”. Вхідні дані за всіма критеріями, відповідно до категорії представлено у табл. 1–3.

Таблиця 1

Вхідні дані групи “Внутрішній стан ІТ-ринку України”

| Критерій \ Регіон | Вінниця | Миколаїв | Запоріжжя | Дніпро | Одеса | Львів | Івано-Франківськ | Житомир | Хмельницький | Харків | Тернопіль | Ужгород | Львів | Черкаси | Чернівці | Суми | Чернігів |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| ІТ-кластер | - | - | - | - | - | - | + | - | - | + | - | - | + | + | - | - | + |
| ЗВО та ІТ | - | - | + | + | + | - | + | + | + | + | - | - | + | - | + | + | + |
| перегрів ІТ-ринку | - | - | - | + | - | - | - | - | - | + | - | - | + | - | - | - | - |
| вимивання кадрів | + | + | + | + | - | + | + | + | - | + | + | - | - | + | + | + | + |
| співпраця ІТ-індустрії та влади | + | - | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | + | - | - | - | - |
| коворкінг | + | - | - | + | + | - | + | - | + | + | + | + | - | - | - | - | + |
| рівень кваліфікації ІТ-кадрів | середній | середній | високий | низький | середній | низький | високий | високий | високий | високий | низький | середній | високий | середній | високий | середній | середній |
| превалювання в напрямку діяльності | А | А | А | А і П | А і П | А | А | А | А | А і П | А і П | А і П | А і П | А | А | А | А і П |
| актуальність знань | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | не відповідають вимогам | відповідають вимогам | не відповідають вимогам | відповідають вимогам | не відповідають вимогам | відповідають вимогам | не відповідають вимогам | відповідають вимогам |
| кількість профільних ВНЗ/факультетів | 1 | 2 | 5 | 5 | 5 | 2 | 3 | 2 | 1 | 10 | 2 | 1 | 6 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| конкуренція на ІТ-ринку | - | - | - | - | - | - | + | - | - | + | - | - | + | - | - | + | - |
| близькість до ІТ-центрів | + | + | + | + | + | + | + | + | - | + | + | + | + | + | - | + | + |
| кількість фахівців ІТ-сфери, шт. | 2000 | 2500 | 1500 | 8000 | 6000 | 300 | 1100 | 1500 | 1000 | 22000 | 450 | 900 | 20000 | 1600 | 1750 | 1250 | 1250 |
| наявність інвесторів | - | - | - | + | + | - | + | - | - | + | + | + | + | + | - | - | - |
| попит на ІТ-кадри | + | - | - | - | - | + | - | + | - | - | + | + | - | + | + | + | + |

Таблиця 2

Вхідні дані групи “Інвестиційна привабливість регіонів України”

| Критерій \ Регіон | Вінниця | Миколаїв | Запоріжжя | Дніпро | Одеса | Луцьк | Івано-Франківськ | Житомир | Хмельницький | Харків | Тернопіль | Ужгород | Львів | Черкаси | Чернівці | Суми | Чернігів |
|------------------------------|------------|------------|---------------|---------------|------------|------------|------------------|---------------|--------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| авіасполучення | + | - | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | + | - | + | - | - |
| екологія | сприятлива | сприятлива | не сприятлива | не сприятлива | сприятлива | сприятлива | сприятлива | не сприятлива | сприятлива | не сприятлива | сприятлива | сприятлива | сприятлива | несприятлива | сприятлива | несприятлива | сприятлива |
| транспортна розв'язка | гарна | погана | задовільна | задовільна | погана | задовільна | гарна | задовільна | задовільна | погана | гарна | гарна | гарна | погана | гарна | гарна | задовільна |
| рівень дозвілля (відпочинок) | середній | середній | гарний | гарний | гарний | середній | гарний | середній | гарний | гарний | гарний | гарний | гарний | середній | середній | середній | середній |
| рівень безпеки проживання | високий | високий | середній | АТО | середній | середній | високий | високий | високий | АТО | високий | високий | високий | середній | високий | середній | середній |
| рівень життя | доступний | доступний | доступний | дорогий | дорогий | доступний | доступний | доступний | доступний | дорогий | доступний | доступний | дорогий | доступний | доступний | доступний | доступний |
| близькість до Єврозони | + | - | - | - | + | + | + | - | - | - | - | + | + | - | + | - | - |
| рівень володіння англійською | низький | високий | низький | низький | середній | низький | середній | низький | середній | низький | середній | високий | високий | середній | середній | низький | низький |

Таблиця 3

Вхідні дані групи “Заробітна плата” у доларовому еквіваленті

| Критерій \ Регіон | Вінниця | Миколаїв | Запоріжжя | Дніпро | Одеса | Луцьк | Івано-Франківськ | Житомир | Хмельницький | Харків | Тернопіль | Ужгород | Львів | Черкаси | Чернівці | Суми | Чернігів |
|-------------------|---------|----------|-----------|--------|-------|-------|------------------|---------|--------------|--------|-----------|---------|-------|---------|----------|------|----------|
| зарплата Junior | 575 | 750 | 550 | 750 | 900 | 250 | 600 | 500 | 300 | 500 | 500 | 375 | 570 | 500 | 500 | 600 | 440 |
| зарплата Middle | 1200 | 1150 | 1050 | 1700 | 1800 | 1800 | 1400 | 1300 | 1000 | 1500 | 700 | 800 | 1750 | 1200 | 1400 | 1000 | 1400 |
| зарплата Senior | 2250 | 2000 | 2250 | 2750 | 2900 | 2000 | 2500 | 2500 | 1500 | 3200 | 2400 | 1500 | 3000 | 1500 | 2500 | 1600 | 2500 |

Багатофакторна оцінка показників, за якими можна оцінити стан розвитку ІТ-галузі, оцінюється кортежем, що враховує інвестиційну привабливість

регіонів України (F_j^{IN}), внутрішній стан ІТ-ринку України (F_j^{IN}) та заробітну плату (F_j^{ZP}):

$$F_j = \langle F_j^{IN}, F_j^{VN}, F_j^{ZP} \rangle. \quad (1)$$

З урахуванням цього завдання оцінка показників перетворюється в задачу багатокритеріальної оптимізації виду:

$$O_j^o = \arg G[\langle F_j(O) \rangle], \quad (2)$$

де G – оператор, який визначає структуру моделі;

$\langle F_j(O_j) \rangle$ – тривимірний кортеж, компонентами якого є різні розмірності, за інтервалами зміни і вимірювальними шкалами величини.

У загальному випадку завдання багатокритеріальної оптимізації є некоректними по Адамару, тому що не мають однозначної відповіді [6] і вимагають регуляризації [7].

Загальний підхід до регуляризації задач багатокритеріальної оптимізації полягає в їх скалярізації. В даний час існує безліч різних способів регуляризації: принцип головного критерію, послідовна оптимізація, функціонально-вартісний аналіз і таке інше, але найбільш аргументованим є підхід, заснований на теорії корисності [8], який полягає у формуванні узагальненої скалярної оцінки (функції корисності) допустимих рішень. В даному випадку функція корисності буде мати вигляд:

$$P(O_j^o) = Q[\langle \lambda_j \rangle, \langle F_j(O_j) \rangle], \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де $\langle \lambda_j \rangle$ – кортеж коефіцієнтів ізоморфізму;

$\langle F_j(O_j) \rangle$ – кортеж різномірних оцінок показників розвитку ІТ-галузі.

Для конструктивного використання моделі (3) необхідно вирішити задачу її структурно-параметричної ідентифікації, тобто визначити структуру (вид оператора Q) і параметри (значення коефіцієнтів ізоморфізму λ_j). Рішення зазначених завдань є евристичними процедурами, заснованими на реалізації методології експертного оцінювання.

В якості узагальненої оцінки ефективності локальної категорії можна прийняти адитивну модель виду:

$$P(O_j) = \sum_{j=1}^3 \lambda_j F_{ji}(O_i), \quad (4)$$

де $F_{ji}(O_i)$, $j = \overline{1, 3}$ – інвестиційна привабливість регіонів України ($j = 1$), внутрішній стан ІТ-ринку України ($j = 2$) і заробітна плата ($j = 3$) оцінки, виміряні в натуральних показниках;

λ_j – коефіцієнти ізоморфізму.

Коефіцієнти ізоморфізму λ_j в моделі (4) виконують дві функції: призводять різномірні величини до однієї розмірності; враховують різну відносну важливість.

Така подвійність ускладнює експертну параметричну ідентифікацію моделі (4).

Для подолання цих труднощів перетворимо модель шляхом приведення її до безрозмірною форми і представимо її у вигляді:

$$P(O_j) = \sum_{j=1}^n a_j F_{ji}(O_i), \quad (5)$$

де $F_{ji}(O_i)$ – значення j -ї категорії з врахуванням i показників;

a_j – безрозмірні коефіцієнти відносної важливості, що відповідають наступним обмеженням:

$$0 \leq a_j \leq 1, \quad \forall j = \overline{1, 3}; \quad \sum_{j=1}^3 a_j = 1. \quad (6)$$

Модель оцінювання $F_{ji}(O_i)$ має вигляд [9]:

$$F_{ji}(O_i) = \sum_{i=1}^n b_{ji} O_{ji}^H, \quad (7)$$

де O_{ji}^H – нормалізовані критерії j -ї категорії;

b_{ji} – безрозмірні коефіцієнти відносної важливості нормалізованих приватних критеріїв. Їх нормалізація проводиться за формулою:

$$O_{ji}^H(x) = \left[\frac{O_{ji} - O_{ji}^G}{O_{ji}^K - O_{ji}^G} \right], \quad (8)$$

де O_{ji} – значення критерію;

O_{ji}^K , O_{ji}^G – відповідно найкраще і найгірше значення критерію, яке він приймає на області допустимих рішень.

З урахуванням проведеного раніше перетворення функцій, модель оцінки категорій, цільова функція має вигляд:

$$O_j^o = \arg \sum_{j=1}^3 a_j \left\{ \sum_{i=1}^n b_{ji} \left[\frac{O_{ji} - O_{ji}^G}{O_{ji}^K - O_{ji}^G} \right] \right\}. \quad (9)$$

Таким чином, за допомогою використання принципів побудови моделі прийняття багатокритеріальних рішень в умовах детермінованих вихідних даних, реалізовано етап синтезу методології прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і інтервальної невизначеності.

Результати дослідження. На основі моделі (7) були виконані розрахунки по визначенню оцінки показників стану ІТ-галузі на основі даних, представлених в табл. 1-3.

Кожний з критеріїв має свою шкалу оцінювання:

“ІТ-кластер”, “ВНЗ та ІТ”, “перегрів ІТ-ринку”, “вимивання кадрів”, “співпраця ІТ-індустрії та влади”, “коворкінг”, “конкуренція на ІТ-ринку”, “близькість до ІТ-центрів”, “наявність інвесторів”, “по-

пит на IT-кадри”, “авіасполучення”, “близькість до Єврозони” оцінюється як є (+) чи ні (-);

“рівень кваліфікації IT-кадрів” та “рівень володіння англійською” вимірюється за трьохрівневою шкалою – високий, середній, низький;

“превалювання в напрямку діяльності” вимірюється за двохрівневою шкалою – аутсорсинговий (А) та продуктовий (П) напрями;

“актуальність знань” вимірюється за двохрівневою шкалою – не відповідають вимогам та відповідають вимогам;

“екологія” вимірюється за двохрівневою шкалою – сприятлива та не сприятлива;

“транспортна розв'язка” вимірюється за трьохрівневою шкалою – гарна, задовільна, погана;

“рівень дозвілля (відпочинок)” вимірюється за трьохрівневою шкалою – гарний, середній, низький;

“рівень безпеки проживання” вимірюється за трьохрівневою шкалою – високий, середній, близько до зони політичної нестабільності (АТО);

“рівень життя” вимірюється за двохрівневою шкалою – доступний та високий;

“кількість профільних ВНЗ/факультетів”, “кількість фахівців IT-сфери”, “зарплата Junior”, “зарплата Middle” та “зарплата Senior” представлені як числові значення.

Результати розрахунку подано у табл. 4.

Таблиця 4

Значення показників стану IT-галузі за кожною категорією

| Регіон | Внутрішній стан IT-ринку України (F_j^{VN}) | Інвестиційна привабливість регіонів України (F_j^{IN}) | Заробітна плата (F_j^{ZP}) |
|------------------|---|--|--------------------------------|
| Вінниця | 0,371889 | 0,675371 | 0,4652406 |
| Дніпро | 0,519952 | 0,206093 | 0,8045386 |
| Житомир | 0,344427 | 0,283922 | 0,5061017 |
| Запоріжжя | 0,299983 | 0,339478 | 0,4069656 |
| Івано-Франківськ | 0,550606 | 0,615207 | 0,5876868 |
| Луцьк | 0,274074 | 0,444444 | 0,4313725 |
| Львів | 0,764226 | 0,878648 | 0,776402 |
| Миколаїв | 0,180833 | 0,455709 | 0,4908131 |
| Одеса | 0,413808 | 0,47363 | 0,9411765 |
| Суми | 0,443659 | 0,282642 | 0,2900041 |
| Тернопіль | 0,474535 | 0,611879 | 0,3046757 |
| Ужгород | 0,36851 | 0,78085 | 0,0944056 |
| Харків | 0,866667 | 0,333333 | 0,7039627 |
| Хмельницький | 0,268817 | 0,55914 | 0,1165501 |
| Черкаси | 0,378068 | 0,228879 | 0,2797203 |
| Чернівці | 0,285936 | 0,729647 | 0,5364048 |
| Чернігів | 0,5844 | 0,338198 | 0,5056355 |

За кожною групою показників є свої максимальні та мінімальні значення, що впливає на комплексний показник. Так, за групою “Внутрішній стан IT-ринку” мінімальне значення спостерігається у Миколаївському регіоні (0,180833), а максимальне – у Харківському (0,866667). За групою “Інвестиційна привабливість регіонів” максимум належить Львівському регіону (0,878648), а мінімум – Дніпропетровському регіону (0,206093). За групою “Заробітна плата” максимальне значення за Одеським регіоном (0,9411765), а мінімальне – за Ужгородським (0,0944056).

Визначення комплексного показника стану IT-галузі регіону за моделлю (5) приймає вигляд:

$$P(O_i) = \frac{F_i^{VN} + F_i^{IN} + F_i^{ZP}}{3}, \quad i = \overline{1,17}. \quad (10)$$

Результати розрахунку комплексного показника стану IT-галузі за кожним регіоном України представлені в табл. 5.

З урахуванням збільшення значення комплексного показника стану IT-галузі, регіональні центри насамперед представлені такими флагами у галузі IT, як Львів (0,806425), Харків (0,634654) та Одеса (0,609538). Слабкіший розвиток IT-галузі притаманний для Сум (0,338769), Хмельницького (0,314836) та Черкас (0,295556) (рис. 1).

Таблиця 5

Значення комплексного показника стану ІТ-галузі за кожним регіоном України

| Регіон | Львів | Харків | Одеса | Івано-Франківськ | Чернівці | Дніпро | Вінниця | Чернігів | Тернопіль | Ужгород | Луцьк | Житомир | Миколаїв | Запоріжжя | Суми | Хмельницький | Черкаси |
|--------------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|---------|----------|-----------|----------|--------------|----------|
| Значення показника | 0,806425 | 0,634654 | 0,609538 | 0,5845 | 0,517329 | 0,510195 | 0,504167 | 0,476078 | 0,463697 | 0,414589 | 0,383297 | 0,37815 | 0,375785 | 0,348809 | 0,338769 | 0,314836 | 0,295556 |

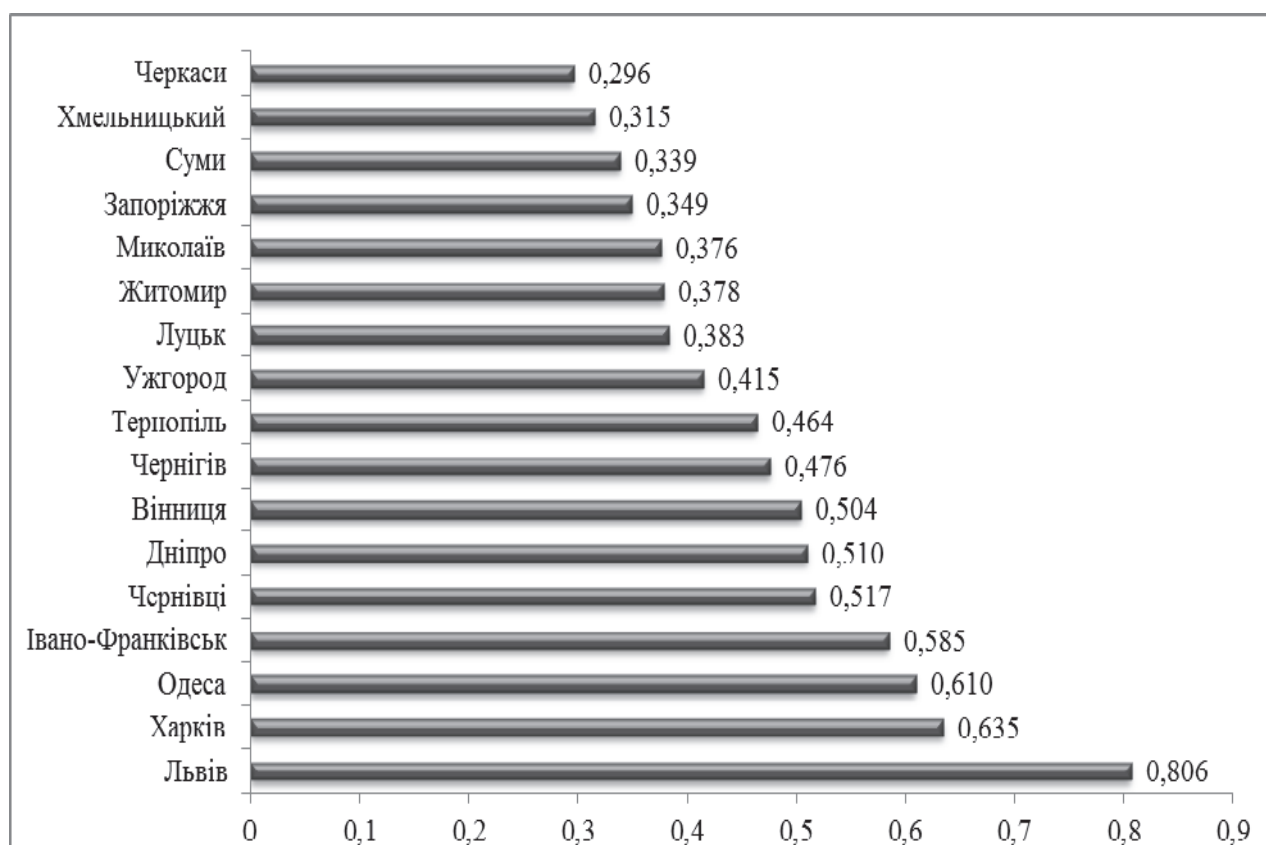


Рис. 1. Ранжування регіонів України за комплексним показником стану ІТ-галузі

Також необхідно відмітити, що починаючи з Харківського регіону і закінчуючи Черкаським, спостерігається поступовість між значеннями показників попереднього та наступного регіонів (від $1 \cdot 10^{-3}$ до $68 \cdot 10^{-3}$), тоді як різниця між значеннями показників Харківського та Львівського регіонів суттєво відрізняється (складає $171 \cdot 10^{-3}$).

Такий відрив пов'язано з тим, що інвестиційна привабливість Харківського регіону значно нижче (0,333) ніж у Львівському (0,879) при тому, що різниця за показником по заробітній платі мізерна, а за станом внутрішнього ринку Харківський регіон має вищий показник, ніж Львівський регіон.

За результатами сформованої моделі та проведеними за нею розрахунками, необхідно з'ясувати силу зв'язку між обраними факторами та комплексним показником, а також значність впливу факторів на комплексний показник. Таке дослідження було проведено за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

Коефіцієнти кореляції між факторами “Внутрішній стан ІТ-ринку України” (F_j^{IN}), “Інвестиційна привабливість регіонів України” (F_j^{IN}), “Заробітна плата” (F_j^{ZP}) та комплексним показником стану ІТ-галузі регіону та їх інтерпретація наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції

| Назва показника | Значення коефіцієнта кореляції | Оцінка значення коефіцієнта кореляції за шкалою Чеддока |
|---|--------------------------------|---|
| Внутрішній стан ІТ-ринку України | 0,74 | сильна та пряма |
| Інвестиційна привабливість регіонів України | 0,478 | помірна та пряма |
| Заробітна плата | 0,75 | сильна та пряма |

Коефіцієнт множинної кореляції, отже зв'язок між ознакою та факторами сильний.

Рівняння множинної регресії наступне:

$$Y = 0,000301 + 0,3331X_1 + 0,3321X_2 + 0,3345X_3.$$

Можлива економічна інтерпретація параметрів моделі така: збільшення X_1 на 1 од.вим. призводить до збільшення Y в середньому на 0,333 од.вим.; збільшення X_2 на 1 од.вим. призводить до збільшення Y в середньому на 0,332 од.вим.; збільшення X_3 на 1 од.вим. призводить до збільшення Y в середньому на 0,335 од.вим.

Перейдемо до статистичного аналізу отриманого рівняння регресії: перевірці значимості рівняння і його коефіцієнтів. Об'єктивною оцінкою є скоригований коефіцієнт детермінації, який дорівнює 1. І це підтверджує той факт, що дане рівняння регресії пояснює поведінку Y .

Також необхідно перевірити побудовану модель на адекватність реальному процесу шляхом порівняння даних, розрахованих за моделлю і визначених експериментально.

Для перевірки адекватності моделей обраних критерій Фішера [10]:

$$F_e = \frac{S_{ad}^2}{S_e^2}, \quad (11)$$

що є відношенням двох дисперсій – відтворюваності та адекватності.

Дисперсія відтворюваності [10]:

$$S_e^2 = \sum_{i=1}^n \frac{S_{ni}^2}{n}, \quad (12)$$

де S_{ni}^2 – середньоквадратичне відхилення при вимірюванні i -го результату.

Розсіювання експериментальних точок щодо розрахункових характеризується залишковою дисперсією або дисперсією адекватності [11]:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - y_{ip})^2}{m - l - 1}, \quad (13)$$

де y_{ip} , y_i – розрахункові та експериментальні значення;

m – число порівнюваних значень;

l – число коефіцієнтів, визначених за дослідними даними.

Теоретична залежність покладається адекватною дослідній, якщо отримане експериментальне значення критерію Фішера F_e менше табличного $F_{табл}$, обраного за кількістю ступенів свободи чисельника і знаменника, а також довірчої ймовірності α :

$$F_e < F_{табл}. \quad (14)$$

В даному випадку табличне значення при ступенях свободи та $k_1 = 3$, $k_2 = n - m - 1 = 17 - 3 - 1 = 13$, $F_{табл}(3; 13) = 3,41$, а експериментальне $F_e = 1,50762 \cdot 10^{-5}$.

Експериментальне значення критерію Фішера не перевищує табличного значення. Тому розроблену модель можна вважати адекватною і покласти в основу подальших досліджень.

Висновки

В ході проведеного дослідження за регіонами України було проведено опитування експертів, розроблено критерії оцінювання кожного з показників стану ІТ-галузі та синтезовано модель оцінки регіонів згідно з критеріями оцінювання. За кожним критерієм для його оцінювання розроблено шкали оцінювання, які представляють собою як числові значення, так й якісні двоохривневі та трьохривневі шкали. Також була сформована узагальнена скалярна оцінка якості допустимих рішень для регуляризації багатокритеріальної задачі. За розробленою моделлю було проведено розрахунок показників, що входять до моделі, та комплексного показника стану ІТ-галузі за кожним регіоном, а також за допомогою кореляційно-регресійного аналізу з'ясовано силу зв'язку між обраними факторами та комплексним показником і виявлено значність впливу факторів (показників) на комплексний показник. Отримані результати дозволяють стверджувати, що фактори, які входять до моделі, мають значущий вплив на комплексний показник та однозначно визначають його стан. Також було визначено, що дана модель за критерієм Фішера є адекватною.

Список літератури

1. Винничук Р.О. Особливості розвитку ІТ-ринку в Україні: стан та тенденції / Р.О. Винничук, Т.В. Склярчук // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Логістика. – 2015. – № 833. – С. 3-8.
2. Рубин Э. Победа под елочку: IT-кластер координирует программу облсовета “IT-Харьковщина” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dou.ua/lenta/columns/it-kharkiv>.
3. Стремetsька Дарина. Регулювання і перспективи ІТ-ринку України [Електронний ресурс] / Дарина Стремetsька. – Режим доступа: <https://dou.ua/forums/topic/22075/>.
4. Грабовская Анна. Токсичный HR: действия, которые отравляют команду [Электронный ресурс] / Анна Грабовская. – Режим доступа: <https://dou.ua/lenta/articles/toxic-hr/>.
5. Брынза Н.А. Многофакторная оценка показателей развития IT-отрасли в регионах Украины / Н.А. Брынза, А.А. Гаврилова // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 2(56). – С. 159-169. <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.56.24>.
6. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 254 с.
7. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 286 с.
8. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
9. Автоматизированные системы управления городским хозяйством / И.В. Кузьмин, Э.Г. Петров, И.А. Алферов, В.В. Евсеев, Л.В. Мигунова. – Киев: Будівельник, 1978. – 144 с.
10. Алиев Т.А. Экспериментальный анализ / Т.А. Алиев. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
11. Оценка адекватности математических моделей характеристик электрогидравлических следящих приводов / Т.Я. Таванюк, А. П. Николаенко, А. В. Романченко, Т. А. Шумакова // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2017. – № 7(237). – С. 89-94.
12. Бараник З.П. Функционирование рынка труда: статистическая оценка: монография / З.П. Бараник. – К.: КНЕУ, 2007. – 392 с.
13. Зарегистрированная безработица в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/rp/sz_br/sz_br_u/zb_u2017.htm.

References

1. Vynnychuk, R.O. and Skljarkuk, T.V. (2015), “Osoblyvosti rozvytku IT-rynku v Ukraini: stan ta tendenciji” [Features of the IT market development in Ukraine: state and trends], *Visnyk Nacionaljnogho universytetu “Ljvivjska politekhnika”. Loghistryk*, No. 833, pp. 3-8.
2. Rubin, Je. (2018), “Peremoga pod elochku: IT-klaster koordiniruet programmu oblsoвета “IT- Kharjковshhyna” [Victory under a Christmas tree: IT cluster coordinates program of regional council “IT-Kharkiv region”], available at: <https://dou.ua/lenta/columns/it-kharkiv/>.
3. Stremetsjka, Daryna (2017), “Reguljuvannja i perspektyvy IT-rynku Ukrainy” [Regulation and prospects of the IT-market of Ukraine], available at: <https://dou.ua/forums/topic/22075/>.
4. Grabovskaja, Anna (2019), “Toksichnyj HR: dejstvija, kotorye otravljajut komandu” [Toxic HR: actions that poison a team], available at: <https://dou.ua/lenta/articles/toxic-hr/>.
5. Brynza, N.A. and Gavrilova, A.A. (2018), “Mnogofaktornaja ocenka pokazatelej razvitija IT-otrasli v regionah Ukrainy” [Multi-factor assessment of development indicators of the IT industry in the regions of Ukraine], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 2(56), pp. 159-169. <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.56.24>.
6. Podinovskiy, V.V. and Nogin, V.D. (1982), “Pareto-optimalnye reshenija mnogokriterial'nyh zadach” [Pareto optimal solutions for multicriteria problems], Nauka, Moscow, 254 p.
7. Tikhonov, A.N. and Arsenin, V.Ya. (1986), “Metody reshenija nekorrektnykh zadach” [Methods for solving incorrect problems], Nauka, Moscow, 286 p.
8. Fishburn, P. (1978), “Teorija poleznosti dlja prinjatija reshenij” [Theory of utility for decision making], Nauka, Moscow, 352 p.
9. Kuzmin, I.V., Petrov, E.G., Alferov, I.A., Evseev, V.V. and Migunova, L.V. (1978), “Avtomatizirovannye sistemy upravlenija gorodskim hozjajstvom” [Automated urban management systems], *Budivelnjnyk*, Kyiv, 144 p.
10. Aliev, T.A. (1991), “Jeksperimental'nyj analiz” [Experimental analysis], *Mashinostroenie*, Moscow, 272 p.
11. Tavanjuk, T.Ja., Nikolaenko, A.P., Romanchenko, A.V. and Shumakova, T.A. (2017), “Ocenka adekvatnosti matematyckikh modelej harakteristik jelektrogidravlycheskikh sledjashhijh privodov” [Assessment of the adequacy of mathematical models of the characteristics of electro-hydraulic servo drives], *Visnyk Skhidnoukrajynskogho nacionaljnogho universytetu imeni Volodymyra Dalja*, No. 7 (237), pp. 89-94.
12. Baranik, Z.P.(2007), “Funkcionirovanie rynku truda: monohrafiia” [Labor Market Functioning: Statistical Assessment], *KNTEU*, Kyiv, 392 p.
13. State Employment Service of Ukraine (2018), “Zaregistririvannaja bezrobotica v Ukraine” [Registered unemployment in Ukraine], available at: www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/rp/sz_br/sz_br_u/zb_u2017.htm.

Надійшла до редколегії 4.04.2019

Схвалена до друку 23.04.2019

Відомості про авторів:

Бринза Наталя Олександрівна
доцент кафедри Харківського національного економічного університету ім. С. Кузнеця,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0229-2874>

Гаврилова Алла Андріївна
старший викладач
Харківського національного економічного університету ім. С. Кузнеця,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2015-8927>

Information about the authors:

Natalia Brynza
Senior Lecturer of Simon Kuznets
Kharkiv National University of Economics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0229-2874>

Alla Gavrilo
Senior Instructor
of Simon Kuznets
Kharkiv National University of Economics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2015-8927>

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ИТ-ОТРАСЛИ В РЕГИОНАХ УКРАИНЫ

Н.А. Брынза, А.А. Гаврилова

В статье был сформирован трехмерный кортеж показателей, отражающий состояние ИТ отрасли Украины и учитывающий инвестиционную привлекательность регионов, внутреннее состояние ИТ рынка и заработную плату. Сформирована обобщенная скалярная оценка качества допустимых решений для регуляризации многокритериальной задачи. Используя принципы построения модели принятия многокритериальных решений в условиях детерминированных входных данных, реализован этап синтеза методологии принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной неопределенности. Построена математическая модель состояния ИТ отрасли в Украине, которая представлена в виде комплексного показателя. На основе построенной модели выполнены расчеты по определению оценки показателей состояния ИТ отрасли. С помощью корреляционно-регрессионного анализа выяснена сила связи между выбранными факторами и комплексным показателем, а также значительность влияния факторов на комплексный показатель. С помощью критерия Фишера было установлено, что предложенная математическая модель является адекватной тем процессам, которые она описывает.

Ключевые слова: ИТ-отрасль, многокритериальность, оптимизация, нормализация, инвестиционная привлекательность, трехмерный кортеж, обобщенная скалярная оценка качества допустимых решений, комплексный показатель, коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, корреляционно-регрессионный анализ, уравнения множественной регрессии.

FORMING OF A MODEL FOR ASSESSING THE INDICATORS OF THE DEVELOPMENT OF THE IT SECTOR IN THE REGIONS OF UKRAINE

N. Brynza, A. Gavrilo

According to the results of previous statistical studies, there is a serious shortage of young specialists who are able to solve new challenges that are constantly appearing and changing. This shortage is due to the fact that at the same time there are problems with the training of competitive specialists by specialized educational institutions, as well as the “washing out” of skilled personnel not only from less prosperous regions in domestic IT centers, but also outside the country. According to the results of a survey of experts (top managers of well-known IT companies operating in Ukraine), positive and negative factors of IT-business in the regions of Ukraine were revealed. The article formed a three-dimensional tuple of indicators that reflects the state of the IT industry in Ukraine, and includes the investment attractiveness of the regions, the internal state of the IT market, and salary. The utility function, which is represented by tuples of isomorphism coefficients and heterogeneous estimates of indicators of IT development, is developed. A generalized scalar quality estimate of admissible solutions for the regularization of a multi-criteria task is formed. The constructive use of the model solves the problem of its structural-parametric identification. Using the principles of constructing a model of multi-criteria decision making under deterministic output data, the stage of synthesis of a decision-making methodology under conditions of multi-criteria and interval uncertainty is implemented. A mathematical model of the state of the IT industry in Ukraine has been built, which is presented as a complex indicator. The calculations for determination the assessment of indicators of the state of the IT industry are performed on the basis of the constructed model. Using correlation and regression analysis, the strength of the relationship between the selected factors and the complex indicator were determined, as well as the significance of the influence of factors on the complex indicator. Using the Fisher criterion, it was found that the proposed mathematical model is adequate to the processes that it describes.

Keywords: IT-industry, multicriteria, optimization, normalization, investment attractiveness, three-dimensional tuple, generalized scalar assessment of the quality of feasible solutions, a complex indicator, coefficient of correlation, coefficient of determination, correlation and regression analysis, multiple regression equation.