

УДК 658.152: 69: 502.35

О. Г. Лялюк, к. т. н., доц.;

О. Г. Чухряєва, магістр

## МОДЕЛЬ ІНТЕГРОВАНОГО ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИМ ПРОЦЕСОМ БУДІВНИЦТВА

Розглянуто існуючі методи еколого-економічного моделювання. Для управління інвестиційним процесом будівництва запропоновано модель інтегрованого еколого-економічного управління на базі теорій нечітких множин. Дана модель дозволяє на етапі техніко-економічного обґрунтування розробки інвестиційного проекту будівництва приймати оптимальні організаційно-технологічні рішення з отримання екологічних, економічних та соціальних ефектів в будівництві.

Людина 80 % свого життя проводить в приміщенні, екологічні показники якого, нажаль, не завжди відповідають регламентованим нормативам. Стабілізація екологічної ситуації багато в чому залежить від ефективності впроваджуваних економічних рішень, їх адекватності цілям формування стійкого розвитку економіки. Однією з головних причин критичного екологічного стану України є незадовільне фінансування природоохоронних витрат. На охорону навколишнього природного середовища і раціональне використання природних ресурсів за 2004 рік підприємствами і організаціями всіх форм власності використано 468,6 млн. грн. (95,3 % передбаченого річного обсягу). Витрати на капітальний ремонт основних виробничих фондів природоохоронного призначення становили 303,5 млн грн, поточні витрати на основні природоохоронні заходи — 2903,7 млн грн, що перевищує відповідні показники минулих років. Так, якщо в Україні частка всіх природоохоронних витрат, як показують розрахунки, протягом 1996—2004 років була у межах 0,3—0,4 % ВВП, то, наприклад, у більшості країн Східної Європи частка природоохоронних витрат коливається в межах 1,5—4 % ВВП. При цьому показник ВВП на душу населення в цих країнах перевищує український у 2—10 і більше разів [1].

Підприємствами будівельної галузі в атмосферне повітря викидається 32,7 тис. т шкідливих речовин. Під час будівництва нерационально витрачається велика кількість природних

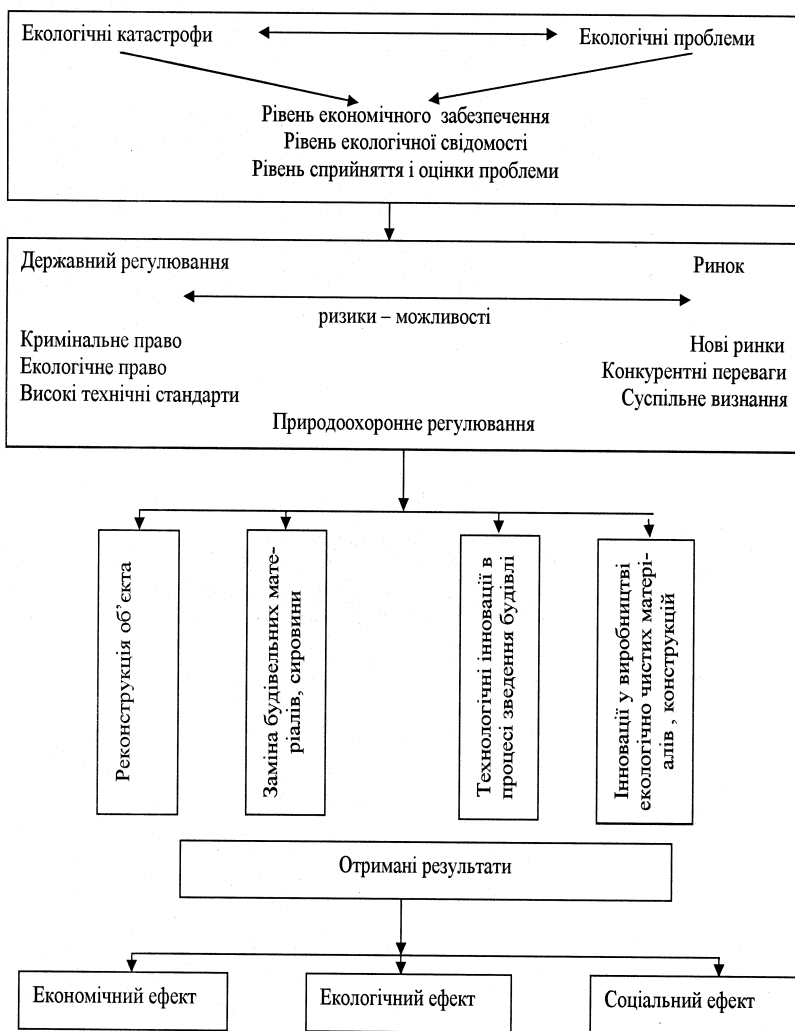


Рис. 1. Схема моделі інтегрованого еколого-економічного управління інвестиційним процесом будівництва

ресурсів, не забезпечуються екологічні параметри, відсутня організаційна структура управління та забезпечення еколого-економічної якості будівлі.

Актуальним постає питання розробки нових та дослідження існуючих еколого-економічних моделей, які б дозволили встановити оптимальний об'єм випуску будівельної продукції за умов наявних екологічних обмежень, дослідити ефективні шляхи розвитку еколого-економічної системи під час всього інвестиційного процесу будівництва, починаючи від розробки проектної документації і закінчуючи задачею екологічно чистого об'єкта будівництва.

Економіко-математична модель повинна бути адекватною дійсності, відображати суттєві сторони і зв'язки об'єкта, що досліджується. Процес моделювання можна умовно розділити на три етапи:

- 1) аналіз теоретичних закономірностей, властивих досліджуваному об'єкту і емпіричних даних про його структуру і особливості. На основі такого аналізу формуються моделі;
- 2) визначення методів, за допомогою яких можна розв'язати задачу;
- 3) аналіз отриманих результатів.

В економіко-математичному моделюванні часто виникає ситуація, коли досліджувана еколого-економічна система має надто складну структуру. Ще не розроблені такі математичні методи та схеми, які б в повній мірі охоплювали всі основні особливості і зв'язки подібної системи. Виникає необхідність спрощення досліджуваного об'єкта, виключення і аналізу деяких його другорядних особливостей з тим, щоб підвести цю спрощену систему під клас вже відомих структур, які підлягають математичному описанню і аналізу. При цьому ступінь спрощення повинен бути таким, щоб всі суттєві для даного еколого-економічного об'єкта риси, у відповідності з метою дослідження, були включені в модель. Важливим моментом першого етапу моделювання є чітке формулювання кінцевої мети побудови моделі, а також визначення критерію, за яким будуть порівнюватись різні варіанти розв'язку. В економічному аналізі такими критеріями можуть бути: найбільший прибуток, найменші витрати виробництва, максимальне завантаження устаткування, продуктивність праці та ін. В задачах математичного програмування такий критерій відображається цільовою функцією. При цьому, як правило, передбачається обмеженість ресурсів, які необхідно виділити на виробництво продукції. Тому досить важливо визначити, які ресурси є вирішальними для досліджуваного процесу і в той же час лімітуючими, який їх запас, при цьому необхідно визначити витрати кожного виду ресурсу на одиницю продукції. Всі обмеження, що відображають економічний процес, повинні бути несуперечливими, повинен існувати хоча б один розв'язок задачі, який задовольняє всі обмеження. Після об'єднання рівняння цільової функції і системи обмежень отримуємо математичну модель економічного процесу.

Другим етапом моделювання еколого-економічних процесів є вибір найраціональнішого математичного методу для розв'язання задачі. Наприклад, для розв'язання задач лінійного програмування відомо багато методів: симплексний, потенціалів та ін. Найкращою моделлю є не найскладніша і не найсхожіша на реальний об'єкт, а та, яка дозволяє отримати найраціональніший розв'язок і найточніші економічні оцінки. Надмірна деталізація ускладнює побудову моделі, часто не дає ніяких переваг в аналізі економічних взаємозв'язків і не збагачує висновки. Надмірне укрупнення моделі призводить до втрати суттєвої еколого-економічної інформації і навіть до неадекватного відображення реальних умов.

Третім етапом моделювання є всебічний аналіз результату, який отримали при дослідженні економічного явища або процесу. Критерієм достовірності і якості моделі є: практика, відповідність отриманих результатів і висновків реальним умовам виробництва, економічна змістовність отриманих оцінок. Якщо отримані результати не відповідають реальним виробничим умовам, то необхідний математичний аналіз причин невідповідності. Такими причинами можуть бути: недостатня достовірність інформації, а також невідповідність застосовуваних математичних методів і схем особливостям і суті досліджуваного економічного об'єкта.

Труднощі, що виникають при моделюванні еколого-економічних систем, мають не лише технічний, але й принципний характер, вони зумовили необхідність поступового, поетапного переходу від моделей математичної економіки і математичної екології до еколого-економічних моделей. В цьому зв'язку можна окреслити два основні напрями побудови «проміжних» моделей [2]:

1. Врахування екологічного фактора в економіко-математичних моделях. Моделі цього класу, зберігаючи традиційну структуру економіко-математичних моделей, містять додаткові змінні та

зв'язки, що характеризують екологічну підсистему. При цьому, як і раніше, мають виконуватися закони збереження в їх балансовій формі, які тепер містять потоки природної сировини та матеріалів, забруднюючих речовин тощо. Останні процеси, що визначають динаміку екосистеми, в моделі не описуються або описуються із значно меншим ступенем деталізації, ніж виробничо-економічна діяльність.

2. Врахування антропогенної дії у моделях екосистем. При побудові моделей даного класу за основу беруться моделі математичної екології, а антропогенна діяльність розглядається як екзогенний вплив на екосистему. Їх особливістю є наявність економічного критерію, відповідно до якого здійснюється політика експлуатації популяції чи спільноти.

Досвід, нагромаджений при узагальненні моделей математичної економіки та математичної екології, дав змогу перейти до побудови комплексних еколого-економічних моделей, до складу яких входять два основних блоки, що описують економічні та екологічні процеси. При цьому кожний блок обов'язково містить рівняння, які пов'язують змінні екологічної та економічної підсистем між собою.

Класичними представниками моделей є міжгалузева балансова модель Леонт'єва — Форда [3] та кінетична модель Моно — Ієрусалимського [4] відповідно.

### Модель Леонт'єва — Форда

Перша розширена екологічним фактором модель міжгалузевого балансу запропонована В. В. Леонт'євим і Д. Фордом. Вона описує дві групи галузей: галузі матеріального виробництва і галузі зі знищення шкідливих відходів:

$$x_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + y_1; \quad (1)$$

$$x_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 - y_2. \quad (2)$$

Рівняння (1) відображає баланс розподілу виготовленої продукції  $x_1$ : на споживання основним виробництвом  $A_{11}x_1$ , допоміжним виробництвом —  $A_{12}x_2$  і кінцевий продукт  $y_1$ , який визначається попитом на продукцію. Баланс забруднювачів (2) відображає об'єм забруднювачів всіх видів виробничої діяльності  $A_{21}x_1 + A_{22}x_2$  і допустимі розміри незнищених забруднювачів  $y_2$ , які визначаються прийнятими санітарно-гігієнічними нормативами. Додамо, що економічний зміст моделі вимагає, щоб усі змінні її були невід'ємними.

Модель Леонт'єва — Форда ефективно використовується для створення ринкових механізмів еколого-економічної взаємодії. Слід зазначити основні напрямки такого використання:

1. Розглядаючи модель у прирістних величинах і вважаючи при цьому, що кінцевий продукт сталий, отримуємо для економії повного випуску та економії знищення забруднювачів аналітичні вирази, які дають змогу оцінити економію основного та допоміжного виробництв при збільшенні викиду забруднювачів у навколишнє середовище на задану величину. Це дає також відповідь на запитання, в які виробничі затрати перетворюється зменшення забрудненості навколишнього середовища на задану величину.

2. Модель може бути використана для ціноутворення продукції з урахуванням необхідних екологічних затрат, пов'язаних з виробництвом цієї продукції.

3. Модель можна використати для визначення екологічного податку.

4. Модель дозволяє дослідити оптимальну регіональну структуру виробництва у зв'язку з можливістю міжрегіонального обміну продукцією та з метою забезпечення екологічних вимог до навколишнього середовища.

### Модель Моно — Ієрусалимського

Дана модель використовується для найагрегованішого описання динамічної взаємодії суспільства і природи [5]:

$$\dot{x} = \mu x - ux; \tag{3}$$

$$\dot{y} = -\alpha \mu x + u(y^0 - y), y > y^0; \tag{4}$$

$$\dot{z} = (\alpha - 1) \mu x - u z; \tag{5}$$

$$\alpha = \text{const} > 1; \tag{6}$$

$$\mu(y, z) = \frac{\mu_m y k_z}{(k_y + y)(k_z + z)}. \tag{7}$$

Система рівнянь (3—7) пов’язує між собою концентрації біомаси  $x$ , поживного субстрату  $y$  та продуктів життєдіяльності (метаболітів)  $z$ . Диференціальні рівняння моделі Моно — Ієрусалимського не мають ніякої біологічної специфіки і тому успішно описують будь-який безперервний технологічний процес, що супроводжується припливом сировини і відпливом корисних продуктів і відходів. Більше того — функціональна залежність  $\mu(y, z)$  досить точно уловлює нелінійні особливості виробництва, використання ресурсів і утворення забруднення.

За своєю структурою запропоновані еколого-економічні моделі можна розділити на три класи: балансові, оптимізаційні та імітаційні [6]. Інколи виділяють ще один клас — циркуляційні (модель Моно — Ієрусалимського). До балансових належить розглянута вище модель Леонтьєва — Форда, а також її узагальнення: модель Р. Айреса—А. Кнізі та модель Д. Уїлена. З використанням принципу «затрати—випуск» побудовані також моделі У. Айзарда, Г. Дейлі, І. Шімацу, Т. Тінберга та інші.

Серед моделей, розроблених в останні роки на основі системного підходу, слід відзначити математичні дослідження збалансованого еколого-економічного розвитку, проведені проф. І. М. Ляшенком [5]. В розроблених моделях економічне зростання пов’язується зі станом навколишнього середовища, насамперед з використанням вичерпних природних ресурсів та з очищенням середовища від забруднень, що виникають.

В управлінні інвестиційним процесом будівництва слід приділяти увагу двом поняттям: аспекту управління и аспекту охорони довкілля. Це враховує розроблена схема моделі інтегрованого еколого-економічного управління (ЕЕУ) інвестиційним процесом будівництва (рис. 1). Поняття «інтегроване» управління має значення: по-перше, гармонійна взаємодія структури загально виробничого управління та структури еколого-економічного управління, що впроваджується; по-друге, підпорядкування всього виробничого інвестиційного процесу меті зниження навантаження на природу.

Традиційні методи для багатofакторного аналізу складних еколого-економічних систем не дозволяють описати причинно-наслідкові зв’язки між параметрами впливу й прогнозованою величиною за допомогою факторів, що враховують вплив їх якісних показників на прийняття рішень. Використання теорії нечітких множин

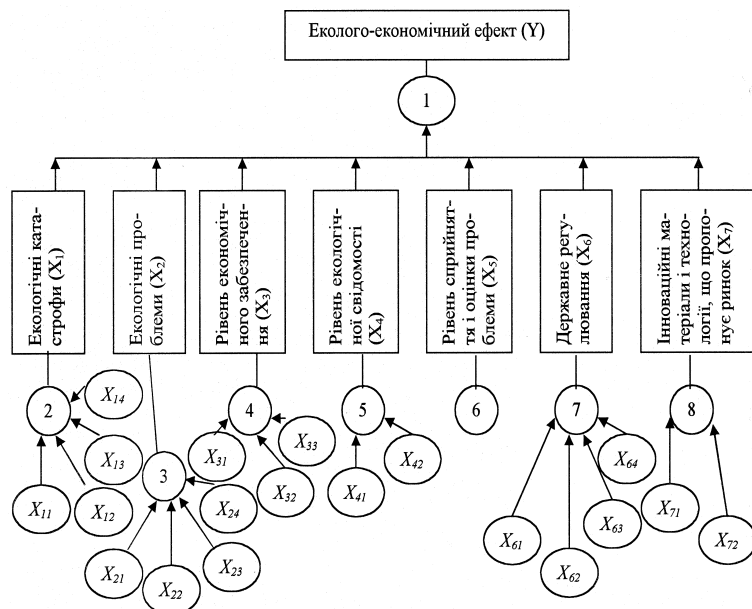


Рис. 2. Дерево логічного висновку ієрархічних зв’язків факторів, що впливають на отримання еколого-економічного ефекту

дозволяє на етапі техніко-економічного обґрунтування розробки інвестиційного проекту будівництва об'єкта приймати оптимальні організаційно-технологічні рішення з отримання екологічних, економічних та соціальних ефектів в будівництві за результатами віртуального експерименту. Цей метод базується на експертно-моделюючому прогнозуванні з використанням кількісних та якісних факторів впливу [7, 8].

Методику прогнозування еколого-економічного ефекту в інвестиційному процесі будівництва на базі апарату нечіткої логіки розглянемо поетапно.

*Етап 1.* Побудова дерева логічного висновку. Дерево логічного висновку відображає класифікацію факторів (рис. 2), що впливають на показник, який прогнозується — еколого-економічний ефект ( $Y$ ). Лінгвістичну змінну  $Y$  можна представити у вигляді співвідношення:

$$Y = f_y(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7), \quad (8)$$

де  $X_1$  — лінгвістична змінна (ЛЗ), яка описує екологічні катастрофи;  $X_2$  — ЛЗ, яка описує екологічні проблеми;  $X_3$  — ЛЗ, яка описує рівень економічного забезпечення;  $X_4$  — ЛЗ, яка описує рівень екологічної свідомості;  $X_5$  — ЛЗ, яка описує рівень сприйняття і оцінки проблеми;  $X_6$  — ЛЗ, яка характеризує державне регулювання;  $X_7$  — ЛЗ, яка характеризує інноваційні матеріали та технології, що пропонує ринок.

Лінгвістичну змінну, що описує екологічні катастрофи, може бути представлено виразом

$$X_1 = f_{x_1}(X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}), \quad (9)$$

де  $X_{11}$  — ЛЗ «забруднення поверхневих вод»;  $X_{12}$  — ЛЗ «вичерпування природних ресурсів»;  $X_{13}$  — ЛЗ «зсуви»;  $X_{14}$  — ЛЗ «викиди радіоактивних речовин в атмосферу».

Лінгвістичну змінну, що описує екологічні проблеми, можна розгорнути в співвідношення

$$X_2 = f_{x_2}(X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}), \quad (10)$$

де  $X_{21}$  — ЛЗ «вміст природних радіонуклідів»;  $X_{22}$  — ЛЗ «гамма випромінювання»;  $X_{23}$  — ЛЗ «кратність повітрообміну в приміщенні»;  $X_{24}$  — ЛЗ «температура приміщення».

Лінгвістичну змінну, що описує рівень економічного забезпечення, може бути представлено співвідношенням

$$X_3 = f_{x_3}(X_{31}, X_{32}, X_{33}), \quad (11)$$

де  $X_{31}$  — ЛЗ «питомий показник економічних витрат, обумовлених одиницею  $i$ -го виду забруднення»;  $X_{32}$  — ЛЗ «питомий показник економічних витрат, обумовлених одиничним показником  $z$ -ї екодеструктивної дії на організм людини»;  $X_{33}$  — ЛЗ «питомий показник економічних витрат, обумовлених одиничним показником  $n$ -ї екодеструктивної дії на природні ресурси».

Лінгвістичну змінну, що описує рівень екологічної свідомості, може бути представлено співвідношенням:

$$X_4 = f_{x_4}(X_{41}, X_{42}), \quad (12)$$

де  $X_{41}$  — ЛЗ «відповідальність»;  $X_{42}$  — ЛЗ «екологічна освіта».

Лінгвістичну змінну, що характеризує державне регулювання, може бути представлено співвідношенням

$$X_6 = f_{x_6}(X_{61}, X_{62}, X_{63}, X_{64}), \quad (13)$$

де  $X_{61}$  — ЛЗ «екологічні податки»;  $X_{62}$  — ЛЗ «кримінальна відповідальність»;  $X_{63}$  — ЛЗ «ціни на ресурси»;  $X_{64}$  — ЛЗ «екологічні штрафи».

Лінгвістичну змінну, що характеризує інноваційні матеріали та технології, може бути представлено співвідношенням

$$X_7 = f_{x_7}(X_{71}, X_{72}), \quad (14)$$

де  $X_{71}$  — ЛЗ «екологічні матеріали»;  $X_{72}$  — ЛЗ «інноваційні технології».

*Етап 2.* Фазифікація факторів, що передбачають вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів і формалізація цих термів за допомогою функцій належності.

*Етап 3.* Побудова нечітких матриць знань. До нечіткої матриці знань відносять результати віртуального експерименту. Експерт відповідає на питання: якою буде лінгвістична оцінка вихідного показника при поєднанні лінгвістичних оцінок факторів.

*Етап 4.* Нечіткий логічний висновок. Техніка нечіткого логічного висновку, яка застосована до

інформації, що зібрана на попередніх етапах, дозволяє обчислити показник, який прогнозується, у вигляді нечіткої множини за допомогою системи висловлювань «ЯКЩО — ТО», що пов'язують нечіткі терми вхідних і вихідних змінних за допомогою операції І та АБО, які прийняті в теорії нечітких множин і відповідають операціям  $\min$  та  $\max$ . Лінгвістичним висловлюванням відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних відповідному терму.

*Етап 5.* Дефазифікація вихідного показника. Щоб перейти від одержаної нечіткої множини до кількісної оцінки, необхідно виконати процедуру дефазифікації, що означає перетворення нечіткої інформації в чітку форму.

### Висновки

За останні 30 років свого існування методи еколого-економічного моделювання збагатились значною кількістю нових підходів. Новий етап розвитку моделювання глобальних проблем пов'язаний з виходом на перше місце загальнолюдських цінностей. Поступово альтернативою економічному стає концепція сталого розвитку, а екологічні питання все більше розглядаються через призму економіки. Еколого-економічне моделювання допомагає дослідити закономірності цього розвитку, визначити шляхи розв'язання сучасних і майбутніх проблем, і цим сприяє подальшому прогресу людства. Теоретичною основою розробленої експертно-моделюючої системи інтегрованого еколого-економічного управління інвестиційним процесом будівництва є теорія лінгвістичної змінної та нечітких множин. Запропонований метод є альтернативний існуючим і дозволяє на етапі техніко-економічного обґрунтування інвестиційного проекту планувати еколого-економічні заходи за відсутності експериментальних даних.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Україна у цифрах у 2004 році. Державний комітет статистики України. Вінницьке обласне управління статистики.
2. Горстко А., Угольницький Г. Введение в моделирование эколого-экономических систем. — Ростов-на-Дону, Ростовский университет. — 1990. — 110 с.
3. Леонтьев В. В., Форд. Д. Межотраслевой анализ влияния структуры экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. — 1972. — Т. 8. — № 3. — С. 370—400.
4. Степанова Н., Романовский Ю., Иерусалимский Н. Математическое моделирование при непрерывном культивировании. ДАН СССР 163 (1965), № 5. — С. 1266—1269.
5. Ляшенко І. М. До методології еколого-економічного моделювання // Економіка України. — 1999. — № 6. — С. 69—78.
6. Методические подходы к выбору стратегии устойчивого развития территории (в 2-х томах). ИППЭ НАН Украины. — Днепропетровск, 1999. — С. 162—170.
7. Ратушняк Г. С., Чухряева О. Г. Еколого-економічне обґрунтування вибору теплоізоляційних матеріалів для термореновації будівель // Вісник ВПІ. — № 3. — 2005. — С. 31—34.
8. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии индентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 320 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом VIII Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2005, 24—27.10.2005 р)

Надійшла до редакції 10.11.05  
Рекомендована до друку 22.11.05

*Лялюк Олена Георгіївна* — доцент кафедри менеджменту будівництва, охорони праці та безпеки життєдіяльності; *Чухряєва Ольга Георгіївна* — аспірантка кафедри менеджменту та моделювання в економіці.

Вінницький національний технічний університет