

УДК 621.311.214.001.2

С.Т.Пазич (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Оцінка технічних параметрів морської гідроакumuлюючої станції для енергії відновлюваних джерел

Розглянуто конкретний варіант створення гідроакumuлюючої станції в морі, а також технічні можливості її будівництва, спираючись на досвід світових аналогів.

Ключові слова: гідроакumuлюючі електростанції, вітроелектричні станції, глибина.

Рассмотрен конкретный вариант создания гидроаккумулирующей станции в море, а также технические возможности ее строительства, опираясь на опыт мировых аналогов.

Ключевые слова: гидроаккумулирующие станции, ветроэлектрические станции, глубина.

Вихідні положення. Із сучасним ростом потреб в електроенергії та розвитком електроенергетичної сфери з використанням відновлюваних джерел постає необхідність покращення якості передачі електроенергії від відновлюваних джерел до кінцевих споживачів. Оскільки Україна затвердила Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (розпорядження КМ України від 1 жовтня 2014 року №902-р.), рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/MC-EpC було ухвалено, що в Україні обсяг використання енергії відновлюваних джерел у загальній структурі енергопостачання повинен складати 11% на кінець 2020 року. Найбільш поширені електростанції, що працюють з використанням відновлюваних джерел енергії, – це вітроелектричні станції (ВЕС) та сонячні електростанції (СЕС). Основним недоліком цих електростанцій є мінливість генерації електроенергії, яка проявляється у стохастичності та пульсації і шкідливо впливає на весь апарат перетворення та передачі цієї енергії до кінцевого споживача. Досить часто ВЕС чи СЕС видають такі показники параметрів електроенергії, що доводиться від'єднувати їх від мережі, щоб уникнути неприпустимих наслідків для мережі та споживачів. Ця мінливість генерації електроенергії є основним стримуючим фактором при використанні відновлюваних джерел. Очевидно, щоб виконати поставлені зобов'язання, Україна буде нарощувати кількість

ВЕС та СЕС в електроенергетиці країни, а це складатиме декілька гігават встановленої потужності. З такими обсягами встановленої потужності ВЕС і СЕС найкращим виходом із проблеми мінливості генерації "зеленої енергії" є її акумулювання. Способів акумулювання електроенергії існує багато, але, щоб акумулювати ефективно у великих масштабах, потрібно використовувати гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС).

Використання ГАЕС для накопичування енергії ВЕС та СЕС – це ефективний шлях інтегрування їх в електроенергетичну систему [1], що, в свою чергу, дає можливість накопичувати та реалізовувати енергію відновлюваних джерел у великих обсягах. Створення ефективних ГАЕС передбачає значний перепад висот (більше 150 м) та водосховище, з якого потрібно брати і спрацьовувати воду, а такі умови в Україні обмежені. Найбільші показники використання ВЕС і СЕС спостерігаються у південних та приморських регіонах України, які мають рівнинний характер місцевості, що ускладнює пошук місця для створення ГАЕС з метою акумуляції їх енергії. Тому необхідний альтернативний шлях: використовувати морську воду для зарядки ГАЕС із тими топографічними умовами, які є в наявності.

Акумулювання морської води у світі. Напрямок гідроакumuлювання з використанням морської води досить молодий: перша ГАЕС на морській воді була створена в Японії на острові Окінава [2] в 90-х роках, друга (введена в

експлуатацію в 2014 р.) знаходиться на острові Ель Йерро в Іспанії [3]. На даний час це єдині реалізовані проекти, але розвиток цього напрямку продовжується. За останні роки чимало країн розглядали можливість створення ГАЕС на морській воді, пропонуючи низку варіантів втілення схеми заряду/розряду гідроакумулятора з використанням природних умов: заток, лиманів, бухт, фіордів, шахт або мілких акваторій з м'яким ґрунтом [4–7]. Для України найкращим варіантом морської ГАЕС є аналог проекту данської національної лабораторії RISO DTU [8] (рис. 1) з побудовою ГАЕС прямо в морі. Цей варіант передбачає створення штучного острова з наміванням землі з дна моря неподалік від берега або разом з берегом, утворюючи резервуар-акумулятор.

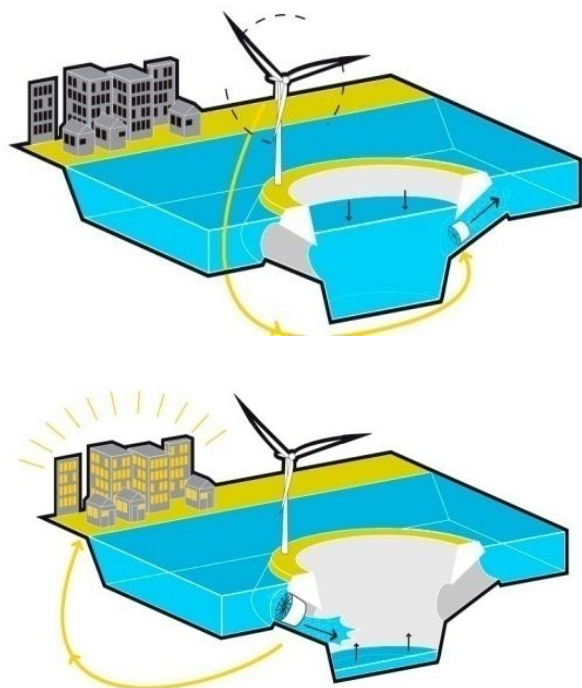


Рис. 1. Схема зарядки та розрядки морської ГАЕС.

Переважна більшість приморських територій України характеризується малою висотою над рівнем моря. Важливе значення мають і екологічні аспекти такого будівництва, що полягають у захисті території від забруднення морською водою. Принципова технологічна особливість функціонування морської ГАЕС полягає в тому, що процеси заряду та розряду басейна-акумулятора відбуваються за діапазону зміни напору води від нульового до максимального значення. Практич-

на реалізація даної технології функціонування морської ГАЕС потребує проведення наукових досліджень та розробки відповідних схемотехнічних рішень.

Технічні особливості створення гідроспоруд у морі не є чимось особливим. Наприклад, найближчим аналогом ідеї морської ГАЕС є припливна станція, яка частково побудована в морі. Іншим прикладом гідроспоруд у морі можуть слугувати намівання штучних островів, дамб, укріплення берегів та інше. Тобто засоби для реалізації та будівництва гідроспоруд у відкритих водоймах існують і використовуються для будь-яких видів робіт. Для роботи у відкритих водоймах (наприклад, для утворення нових територій), використовуються такі технічні засоби:

- земснаряди різних видів (фрезерні, рефулерні, ковшові);
- засоби перевезення видобутого ґрунту (кораблі, автомобілі);
- технічні роботи і засоби для укріплення новоутворених територій та їх берегів;
- інші допоміжні засоби.

Найближчим аналогом для втілення запропонованої ідеї морської ГАЕС безпосередньо в морі є острів Ейсселог [9], Нідерланди (рис. 2). Острів побудований в озері і призначений для зберігання шламу, видобутого під час очистки озера. Діаметр острова 1 км, глибина 40 м, весь добутий із дна озера ґрунт був використаний для побудови дамби. Для Українського Причорномор'я цей варіант досить зручний, зважаючи, що глибина моря берегової зони – це мілководдя глибиною до 15 м, крім деяких районів Криму.



Рис. 2. Острів Ейсселог, Нідерланди.

Первинна оцінка створення морської ГАЕС. Автором було прийнято рішення надалі розглядати варіант морської ГАЕС, розташованої безпосередньо в морі або біля берега, за умови, що весь видобутий ґрунт іде на будівництво дамби ГАЕС по типу острова Ейсселог. Це рішення дає змогу прослідкувати залежність можливостей запасу енергії від фізичних розмірів морської ГАЕС. Дана оцінка має на меті розглянути фізичні розміри накопичувального резервуара, об'єм води, який може вміщувати резервуар, та величину накопиченої енергії. Початкові умови створення резервуара і дамби ГАЕС мають такі фактори, як глибина моря та глибина резервуара при заданій глибині моря. Для розрахунку та оцінки було прийнято чотири величини глибини моря – 5, 10, 15, 20 метрів. Глибина викопного резервуара становитиме 15 і 30 метрів від дна моря. Повна глибина включатиме глибину резервуара плюс глибина моря, тобто варіантів накопичувального резервуара буде 8.

Прийнято, що вся земля, видобута з дна моря, йде на будівництво дамби, тобто $V_D = V_P$ (V_D – об'єм ґрунту для дамби; V_P – об'єм викопаного резервуара). Це дає змогу визначити глибину резервуара відносно дна моря, що необхідно для обчислення фізичних розмірів усієї дамби ГАЕС (рис. 3).

Дамба являє собою коло (кільце). Для обчислення об'єму дамби потрібно визначитись, якої форми буде переріз дамби. Прийнято, що, оскільки дамба буде земляна, то її поперечний переріз буде мати форму рівнобедреної трапеції. Тоді, маючи площу перерізу земляної дамби S_D , можна

визначити об'єм V_P . Для цього потрібно визначити довжину кола земляної дамби при заданому радіусі дамби r_1 , тобто, даний радіус являє собою радіус кола (кільця), яке описує дамба. Радіус дамби визначається за формулою:

$$r_1 = \frac{R - r}{2}, \quad (1)$$

де R – зовнішній радіус дамби; r – внутрішній радіус дамби (радіус резервуара).

Об'єм дамби V_D визначається за формулою:

$$V_D = 2\pi r_1 \cdot S_D. \quad (2)$$

З огляду на те, що дамба має форму кола, резервуар буде мати форму циліндра. Об'єм резервуара розраховується за формулою:

$$V_P = \pi r^2 \cdot h, \quad (3)$$

де h – глибина резервуара.

Із виразу $V_D = V_P$ виводиться глибина резервуара h :

$$h = \frac{2r_1 \cdot S_D}{r^2}. \quad (4)$$

Тобто глибина і фізичні розміри визначаються за трьома наступними параметрами: глибина моря, форма і розміри перерізу дамби, внутрішній радіус дамби (радіус резервуара). Відповідно за перерахованими параметрами підбирається необхідна глибина викопного резервуара відносно дна моря. Загальний об'єм води, який може вміщувати ГАЕС, – це об'єм води, який вміщує викопний резервуар, плюс об'єм води, який вміщує простір, обмежений дамбою ГАЕС.

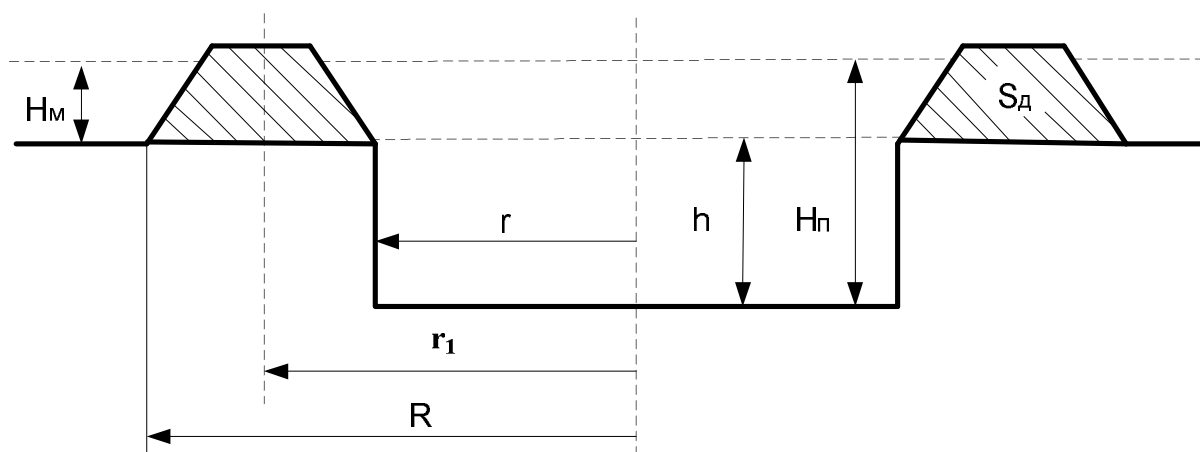


Рис. 3. Схематичний переріз дамби ГАЕС: R – зовнішній радіус дамби; r – внутрішній радіус дамби (радіус резервуара); r_1 – радіус дамби; H_m – глибина моря; h – глибина резервуара; H_p – повна глибина дамби; S_D – площа перерізу дамби.

Для візуалізації розрахункових фізичних розмірів накопичувального резервуара ГАЕС при визначених глибинах 30 і 15 м було побудовано дві залежності:

- глибини резервуара від його радіуса (рис. 4);
- об'єму води, накопиченої дамбою, від радіуса резервуара (рис. 5).

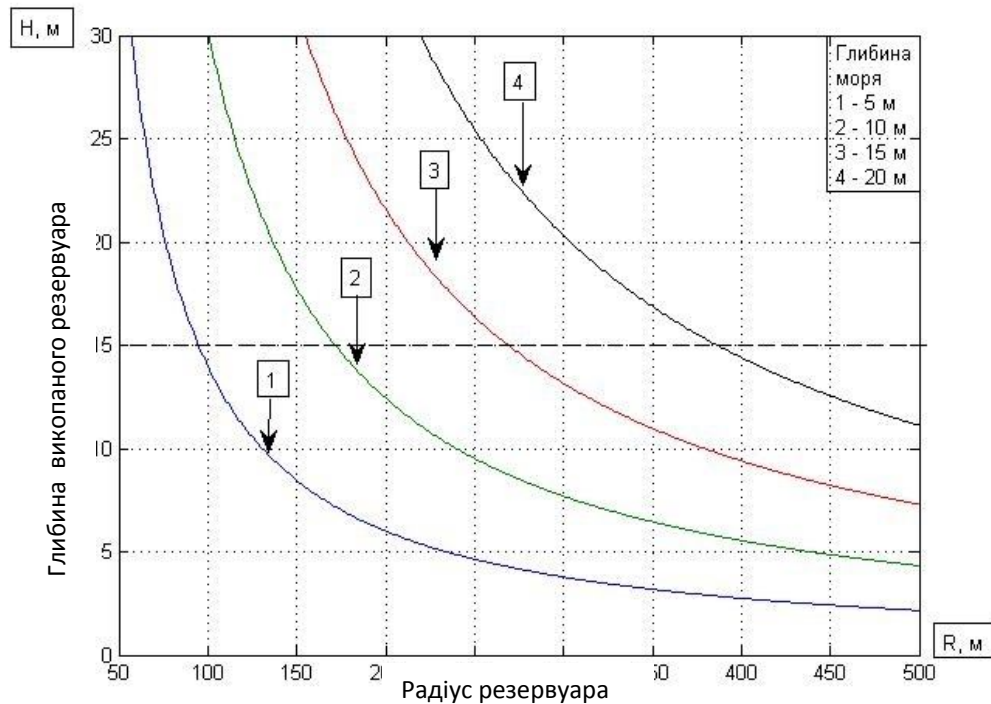


Рис. 4. Залежність глибини резервуара від його радіуса.

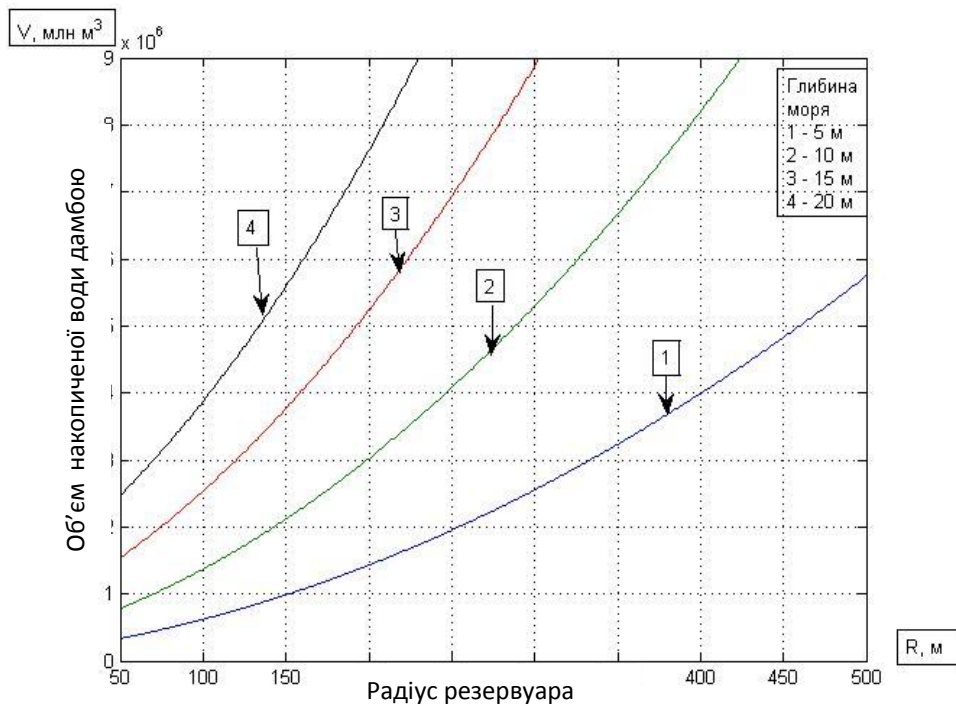


Рис. 5. Залежність об'єму води, накопиченої дамбою, від радіуса резервуара.

Таблиця 1. Фізичні параметри резервуарів першого типу

Параметри	Глибина моря H_m , м			
	5	10	15	20
Глибина резервуара відносно дна моря h , м	30			
Повна глибина H_p , м	35	40	45	50
Радіус резервуара r , м	57	100	155	220
Об'єм накопиченої води, млн м ³	0,37	1,37	3,76	8,53
Об'єм вибраної землі V_p , млн м ³	0,3	0,94	2,26	4,54
Запас енергії N , МВт·год	12,92	55,16	170	425,95

Таблиця 2. Фізичні параметри резервуарів другого типу

Параметри	Глибина моря H_m , м			
	5	10	15	20
Глибина резервуара відносно дна моря h , м	15			
Повна глибина H_p , м	20	25	30	35
Радіус резервуара r , м	95	171	268	385
Об'єм накопиченої води, млн м ³	0,58	2,47	7,39	17,88
Об'єм вибраної землі V_p , млн м ³	0,42	1,38	3,4	7,01
Запас енергії N , МВт·год	11,77	62,1	222,28	626,98

Усі вісім варіантів фізичних характеристик резервуара ГАЕС при глибині 30 та 15 м наведені в таблицях 1 і 2. Також у таблицях наведено розрахунковий запас накопиченої енергії для всіх варіантів. Розрахунок запасу енергії здійснювався за формулою (5). У зв'язку з тим, що така ГАЕС має змінний напір, то значення напору в наведеній нижче формулі взяте як половина від максимально можливого напору на станції:

$$N = 7,2 Q \cdot H, \quad (5)$$

де Q – витрата води; H – напір.

У наведених вище таблицях фізичні розміри дамби ГАЕС та розрахунковий запас енергії дають підстави говорити про значні можливості накопичення енергії у великих об'ємах. Розміри дамби ГАЕС у залежності від глибини коливаються від 100 до 700 метрів у діаметрі, а запаси енергії – від десятків до кількох сотень МВт·год. Якщо вийти за рамки ідеї прийнятого співвідношення, що вся видобута земля йде на будівництво дамби, і прийняти, що при фіксованій глибині буде збільшуватись тільки об'єм резервуара (резервуар тоді не буде колом, а матиме іншу форму), тоді рівень запасу енергії також збільшиться.

При такому варіанті ґрунт можна брати і наживати з інших ділянок моря.

Оперуючи наведеними даними, можна змінювати геометричні розміри ГАЕС і відповідно вибирати місце для їх будівництва. Наприклад, біля берега, якщо дозволяють умови, така викопна дамба може виглядати півколом з половинними значеннями всіх показників, наведених у таблицях 1, 2.

Ідею використання ґрунту для утворення стінок дамби можна застосувати і на суші неподалік від моря, або безпосередньо на високому березі; такі варіанти більш детально розглядалися для Українського Причорномор'я [10]. Такий варіант дамби ГАЕС має більш високий ступінь катастрофічних та екологічних наслідків при її прориві, але має більш зручні умови для будівництва в порівнянні з будівництвом у морі.

Висновки. Україна зобов'язалася підвищити частку відновлюваних джерел у своїй електроенергетичній системі до 11%. У зв'язку з цим було запропоновано і розглянуто створення ГАЕС на морській воді для поліпшення інтеграції майбутніх електростанцій відновлюваної енергетики в

електроенергетичну систему країни. Проведено оцінку запропонованих варіантів морської ГАЕС, наведені варіанти можливих фізичних розмірів і ємності ГАЕС, які дають змогу оцінити її масштаби.

Дана ідея функціонування морської ГАЕС з акумулюванням енергії відновлюваних джерел потребує проведення більш глибоких наукових досліджень щодо розробки відповідних схематичних рішень.

1. Васько П.Ф., Ибрагимова М.Р., Пазыч С.Т. Гидроаккумулирующие электростанции на морской воде – технологическая основа крупномасштабного использования ветровой и солнечной энергии в электроэнергетической системе Крыма // *Alternative Energy and Ecology* – 2011. – № 08 (100). – P. 115–132.

2. The Okinawa Pumped Storage Project (Japan) (http://www.ieahydro.org/reports/Annex_VIII_CaseStudy0101_Okinawa_SeawaterPS_Japan.pdf)

3. El Hierro Hydro-Wind Plant (<http://www.energystorageexchange.org/projects/907>)

4. Hydroakumulatsioonijaam (<http://energiasalv.ee/hydroakumulatsioonijaam>)

5. Mohammad Tawhidul Alam¹, Tofaeel Ahamed, Younus Tareq, Ahsanullah Wahid and Sohorab Hossain, Prospect of Pumped Storage Hydroelectric Power Generation in Bangladesh through Sea Water Pumping // department of Electrical and Electronic Engineering Ahsanullah University of Science and Technology, Dhaka, Bangladesh.

6. Buena C., Carta J.A., Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10 (2006) 312–340

7. Dimitris Al. Katsaprakakis, Dimitris G. Christakis, Kosmas Pavlopoulos, So?a Stamataki, Irene Dimitrelou, Ioannis Stefanakis, Petros Spanos, Introduction of a wind powered pumped storage system in the isolated insular power system of Karpathos–Kasos // *Applied Energy*. – 2012. – No. 97. – P. 38–48.

8. Green Power Island (<http://www.greenpowerisland.dk>).

9. Dirk C. Roukema, Jan Driebergen, Adri G. Fase, Realisation of the Ketelmeer Storage Depot: Terra et Aqua – 1998. – № 71. – 27 p.

10. Обухов Е.В., Холодов Д.В., Экономико-экологические оценки показателей гидроаккумулирования на побережье Украинского Причерноморья. / Одес. гос. экол. ун-т. – О.: Астропринт, 2002. – 254 с.



18 вересня
2015 року

ЗАПРОШУЄМО ВЗЯТИ УЧАСТЬ
У ІV МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ
“ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА: СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКИ”
Тематичні напрямки конференції:

1. Проблеми підвищення якості і конкурентоспроможності підприємства.
2. Інноваційно-інвестиційні аспекти розвитку підприємства в сучасних умовах.
3. Стратегія розвитку підприємства.
4. Планування і контроль на підприємстві в сучасних умовах.
5. Сучасні технології управління на підприємстві.
6. Математико-статистичні методи і моделі економіки підприємства.
7. Економічні проблеми енергетичного забезпечення підприємств (у тому числі, за рахунок відновлюваної енергетики).
8. Економічні проблеми зовнішнього середовища підприємства.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ:

Тел. (067) 731-31-05, (048) 703-11-39 – Семенова Валентина Григорівна, секретар оргкомітету;
Тел. (097) 544 20 85, (066) 329 78 11 – Пудичева Галина Олександрівна.
Ел. адреса: ep_oneu@mail.ru ; <http://oneu.edu.ua/news/news.php?id=text/2804201502>

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ:

м. Одеса, вул. Генуезька, 24 А, готель «Вікторія»

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

65082, Україна, м. Одеса, вул. Преображенська, 8.
Одеський національний економічний університет,
кафедра економіки підприємства.
Тел.: (048) 723-84-03, (048) 723-29-80.