

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОСТІ

І. А. БРИЖАНЬ, кандидат економічних наук
(Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

Анотація. У дослідженні запропоновано процес розвитку промисловості в умовах циклічності моделювання з використанням агентного та системно-динамічного моделювання. Це дозволить урахувати особливості процесу прийняття інвестиційних рішень на рівні окремого суб'єкта та оцінити вплив промисловості на стан навколишнього природного середовища. Автори розробили модель, що описує динаміку промислової системи, її вплив на екологічний стан території, а також особливості інвестиційно-інноваційного процесу, що відбувається на промислових підприємствах України, і дозволяє відобразити особливості ресурсоємної та еко-інноваційної стратегії підприємств.

Ключові слова: екологічно орієнтований розвиток, промисловість, циклічність.

Особливості сучасного сприйняття розвитку та наслідків екологічної кризи стали підґрунтям для формування нової парадигми існування суспільства – екологічно орієнтованого розвитку, що спирається на включення екологічного імперативу до всіх сфер діяльності. Вагоме місце при цьому належить переосмисленню значення і факторів розвитку промисловості та передбачає імплементацію екологічного чинника до управління цим процесом. Аналіз впливу промисловості на навколишнє природне середовище дає можливість зробити висновок, що для забезпечення економічного зростання країни необхідно провести радикальну технологічну модернізацію промисловості, впроваджуючи ресурсозберігаючі технології, системи екологічно чистого та безпечного виробництва. Прийняття концепції екологічно орієнтованого розвитку актуалізує створення системи підтримки прийняття рішень у ході формування інвестиційної політики, що дозволяє прогнозувати економічні й екологічні наслідки впровадження інновацій. З'являється необхідність у цілісній національній системі екологічного управління, що підтверджується станом екосистемного потенціалу України, який є антропогенно-виснаженим унаслідок непомірного використання та на-

вантаження. Все це потребує від державних інституцій, посадових осіб, суспільства екологічно орієнтованого системного підходу в управлінні промисловим розвитком країни. Відповідно, необхідно є розробити економіко-математичну модель, яка описує динаміку промислової системи, її вплив на екологічний стан території, а також особливості інвестиційно-інноваційного процесу, що відбувається на промислових підприємствах України. Використання такої моделі надасть можливість значно знизити ризики невизначеності під час прийняття управлінських рішень.

Моделювання є загальнонауковим методом дослідження, який відіграє важливу роль у розвитку конкретних галузей наукових знань. Тому досить широкий спектр проблем науковці пропонують розв'язати шляхом побудови та видозміни різних типів моделей. Серед авторів, які досліджували проблеми економічного моделювання, слід відзначити В. С. Німчинова [1] та М. П. Власова [2], які розвивали теорію економіко-математичного та статистичного моделювання на макро- та мікроекономічному рівні управління; Ю. П. Маркіна, що вивчав проблеми імітаційного моделювання у промисловості [3]; А. І. Гінзбург [4], який видав праці теоретико-методичного характеру

з моделювання ситуацій та оцінки прийняття рішень, застосувавши аналітичні методи; В. В. Вітлінський [5], С. І. Наконечний [6], які досліджували проблеми моделювання економічних ризиків і управління ними. Але, незважаючи на велике значення моделювання у розвитку економічної науки і практики, специфіка його застосування в умовах циклічності соціально-економічних процесів ще недостатньо досліджена і залишається предметом дискусій науковців. Складність вибору оптимального управлінського рішення у цій сфері та прогнозування його наслідків пов'язане з ризиками невизначеності, що характерні для ринкової економіки загалом, і посилюється недосконалістю методології досліджень і обмеженнями економіко-математичного інструментарію опису процесів циклічності.

Метою цього дослідження є розробка економіко-математичної моделі екологічно-орієнтованого розвитку промисловості в умовах циклічності.

Процес управління передбачає наявність таких елементів, як сам процес управління, показники кількісного вимірювання, математична модель, що описує управлінський процес, і система усунення відхилень показників від цільових. Одним із важливих елементів процесу управління є побудова моделі об'єкта управління, що дозволяє проводити контрольовані експерименти й обґрунтовувати управлінські рішення, що ухвалюються. Оскільки останнім часом в Україні великої значущості набуває необхідність розв'язання екологічних проблем, а основними антропогенними джерелами забруднення являються промислові підприємства, то у роботі досліджується процес екологічно орієнтованого управління промисловим розвитком в умовах циклічності.

Для відтворення екологічно орієнтованого розвитку промисловості в умовах циклічності пропонується використовувати такий методичний підхід, який передбачає поступове виконання таких етапів:

- 1) постановка мети та завдання оцінки;
- 2) вибір методу моделювання;
- 3) визначення ключових показників, що характеризують стан основних елементів системи, яка досліджується;

4) побудова когнітивних схем, що описують взаємозв'язки між елементами системи;

5) формалізація взаємозв'язків між елементами системи у вигляді математичних функцій;

6) збір емпіричних даних, що характеризують досліджувану систему;

7) параметризація розроблених економіко-математичних функцій відповідно до отриманих даних;

8) реалізація розробленої моделі у відповідному програмному середовищі;

9) верифікація економіко-математичної моделі;

10) вибір значень регуляторів і формування сценаріїв розвитку системи, що досліджується;

11) аналіз результатів і формування управлінських рішень.

Основою запропонованого методичного підходу є економіко-математична модель, побудована на основі еволюційного підходу та каузальної діаграми мультиплікаційних ефектів, що утворюють економічний цикл, яка заснована на ендогенній теорії економічного циклу. Модель описує взаємозв'язки між промисловістю і населенням, яке проживає на відповідній території, і розвиває ідеї, які викладено в джерелах [7, 8]. Проте на відміну від існуючих в запропонованій моделі промисловий комплекс представлено у вигляді сукупності двох типів підприємств, які використовують різні стратегії зростання: ресурсоемні та еко-орієнтовані. Перший тип підприємств збільшує випуск продукції шляхом зростання фондівіддачі основних фондів. Підприємства з еко-орієнтованим типом поведінки інвестують значні обсяги в зменшення обсягу ресурсів. Це відображається в зменшенні матеріалоемності.

Модель економіко-екологічного розвитку промисловості задає основні напрями зміни ключових характеристик з урахуванням національних і світових процесів економічного розвитку. Каузальну схему моделі наведено на рис. 1. Відповідно до цієї схеми збільшення промислового виробництва зумовлює зростання забруднення природного середовища у вигляді збільшення викидів в атмосферне

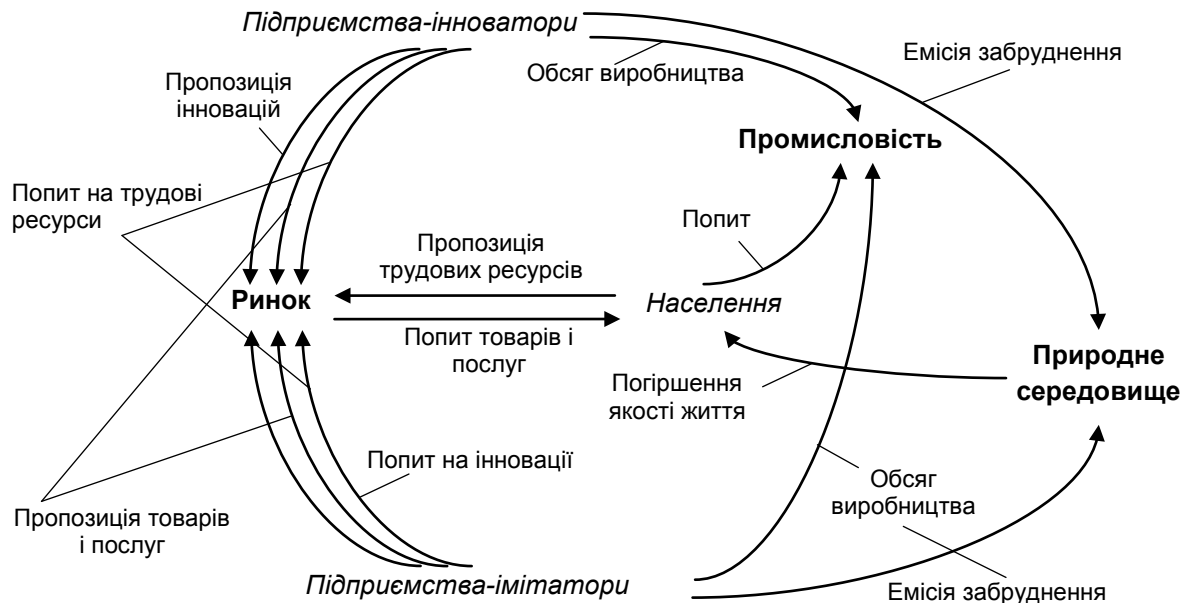


Рис. 1. Зв'язки між концептуальними складовими довгострокової моделі

повітря від стаціонарних джерел, зворотних скидів у водні об'єкти та зростання накопичення відходів. Погіршення стану довкілля призводить до зменшення чисельності населення, що проживає на відповідній території. Це пов'язано зі зростанням смертності від забруднення.

Населення є драйвером попиту на продукцію промисловості та пропозиції робочої сили. Тому збільшення населення обумовлює зростання промислового виробництва. Слід відзначити, що у моделі є екзогенна змінна, яка впливає на попит промисловості – темпи зростання країн-імпортерів продукції промисловості. Особливістю цієї змінної є те, що вона має циклічний характер.

Для обґрунтування управлінських рішень і зниження ризиків невизначеності наслідків їх прийняття в рамках механізму екологічно орієнтованого управління розвитком промислового виробництва запропоновано використовувати імітаційне моделювання, тому розроблену модель реалізовано за допомогою методів системної динаміки й агентного моделювання. Процеси функціонування типового підприємства відтворені за допомогою системно-динамічного підходу, а специфіку поведінки підприємств (домінуючі інституціональні правила інвестування) врахована за

допомогою агентного моделювання. Ключові положення моделі такі:

1) Обсяг виробництва окремим підприємством першого типу (ресурсоємні) є детермінованою мультиплікативною функцією від середньорічної вартості основних фондів, чисельності працівників і фондівдачі як показника, що характеризує існуючий рівень НТП. Обсяг виробництва окремим підприємством другого типу є степеневою функцією від середньорічної вартості основних фондів і чисельності працівників.

2) Витрати окремого підприємства другого типу (екологічно орієнтовані) є детермінованою мультиплікативною функцією від середньорічної вартості основних фондів, чисельності працівників і матеріалоємності як показника, що характеризує рівень екологізації. Витрати виробництва окремим підприємством першого типу є степеневою функцією від середньорічної вартості основних фондів, обсягу виробництва та чисельності працівників.

3) Кожна з двох наведених вище груп підприємств містить «новаторів» і «імітаторів». Перші представники характеризуються активною стратегією розробки нових технологій, тоді як «імітатори» лише позичають існуючий досвід.

Характер взаємодії між умовними типами підприємств «імітаторами» та «новаторами», а також провідну тенденцію успіху визначає технологічний прогрес. Плин технологічного прогресу задається зовнішньою функцією зростання фондівіддачі (або зменшенням матеріалоемності) із урахуванням чинника часу. Величина інвестицій у розробку інновацій і модернізацію основних фондів визначає вірогідність «виграшу» у ринкових відносинах і отримання прибутку. Результати моделювання дозволяють зробити висновок про зміщення акцентів на користь підприємств із новаторським підходом до господарювання. Модель функціонування господарського суб'єкта із використанням методу системної динаміки розроблено для оцінки ефективності діяльності окремого підприємства, що є типовим економічним агентом, який здійснює певні дії за двома основними напрямками: основна економічна діяльність та інвестиційна діяльність. Отже, до основних досліджуваних параметрів обрано: випуск продукції, прибуток, обсяг інвестицій у науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки, вартість основних виробничих фондів, випуск продукції. Розроблена модель відображає:

1) послідовність змін етапів економічного розвитку через індивідуальну еволюцію окремих підприємств, засновану на процесі інноваційного пошуку та виборі відповідної стратегії розвитку;

2) вплив екологічної ситуації на демографічні процеси змінювання кількості та якісного складу населення;

3) зв'язок між поведінкою окремого підприємства та елементами зовнішнього середовища, представленого іншими підприємствами і населенням.

Розроблена модель параметризована за даними, що характеризують стан України за 2005–2012 рр. Для її реалізації використано пакет прикладних програм Anylogic [9]. Загальна кількість агентів, що імітують окремі промислові підприємства, дорівнює 500, із них частка агентів, що орієнтуються на ресурсоємну стратегію – 50 %, решта – агенти, що зменшують матеріалоемність. Середні значення за основними показниками, що характеризують економіко-екологічний стан України за 2005–2012 рр., а також результати моделювання перших кроків наведено у табл. 1. Підбір параметрів здійснювався так, щоб результати розрахунків, які було виконано при обраних чисельних значеннях коефіцієнтів і констант формул, давали найменші відхилення від фактичних даних за обраним набором показників.

З табл. 1 видно, що в побудованій моделі середня помилка не перевищує 10 %, що свідчить про високий ступінь її адекватності та придатності для проведення експериментів.

Розроблена модель дозволяє не тільки оцінювати довгострокові тенденції екологічно орієнтованого розвитку промисловості, але

Таблиця 1

Результати верифікації моделі для України

Назва показника	Од. вим.	Ф	М	П
Обсяг реалізованої промислової продукції у цінах 2005 р.	млн грн	474532,4	465489,7	1,91
Середньорічна вартість основних фондів	млн грн	3423,938	3256,7	4,88
Середньооблікова чисельність персоналу (кількість зайнятих)	млн грн	20552,93	19534,25	4,96
Обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел в атмосферне повітря	тис т	2457,338	2213,435	9,93
Обсяги валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря	тис. т.	1224,69	1682,5	4,83
Обсяг утворених відходів I–III класу небезпеки (токсичні)	млн м ³	12733,41	11488,96	9,77
Кількість постійного населення	млн осіб	46,175	45,9	0,60

Примітка. Ф – фактичні статистичні дані; М – розрахункові величини, отримані в результаті моделювання; П – середня абсолютна помилка, %.

і формувати різні сценарії розвитку за допомогою варіювання значень регуляторів. Як регулятори для формування сценаріїв у моделі можуть бути використані: ставка податку на прибуток, темпи зростання економік країн-імпортерів та інші екзогенні змінні.

У дослідженні з використанням побудованої моделі сформовано такі сценарії розвитку промисловості:

- 1) базовий сценарій (інерційний);
- 2) зростання ставки податку на прибуток підприємств до 35 %;
- 3) зниження ставки податку на прибуток підприємств до 17 %.

Запропоновані сценарії відображають різні варіанти державного регулювання екологічно орієнтованого розвитку промисловості в умовах циклічності економіки. Другий сценарій суттєво підвищує ставку податку, збільшуючи надходження до державного бюджету. Проте, це призводить до зменшення прибутку, що залишається для інвестиційної діяльності підприємства. Третій сценарій, навпаки, зменшує податкове навантаження на підприємства та

може призвести до скорочення надходжень до бюджету.

Базовий сценарій передбачає прогнозування розвитку промисловості за умов збереження існуючих тенденцій. Горизонт прогнозування – 100 кроків. Відповідно до проведеного експерименту (рис. 2, 3) враховуючи існуючі тенденції циклічності розвитку економіки середньорічний темп зростання економіки становить приблизно 0,5 %, середньорічний темп скорочення населення – 0,2 %. У свою чергу, збільшення забруднення атмосферного повітря становить 0,1 %, зменшення обсягів утворення відходів – 1,5 %. Особливу увагу заслуговує зміна структури між групами підприємств. Частка підприємств, що орієнтовані на зменшення матеріалоемності виробництва, становила 58 %, тоді як частка підприємств, які акцентують увагу на екстенсивному типі виробництва, зменшилась до 42 % відповідно. Отже, можна зробити висновок, що еко-орієнтована стратегія дозволяє значно ефективніше пристосуватися до циклічності розвитку.

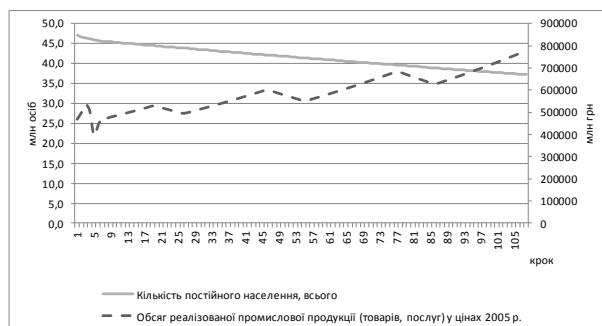


Рис. 2. Динаміка показників «чисельність населення» та «обсяг реалізованої продукції» за інерційним сценарієм

Відповідно до другого сценарію збільшення ставки податку до 35 % призведе до зменшення прибутку, що залишається в розпорядженні підприємства. Отже, це значно ускладнює інвестиційний процес. Результати прогону моделі наведено на рис. 4 і 5 і в табл. 2.

Наведені дані свідчать про те, що збільшення податку на фінансові результати виробництва призводить до зростання негативного навантаження на довкілля: обсяг утворення

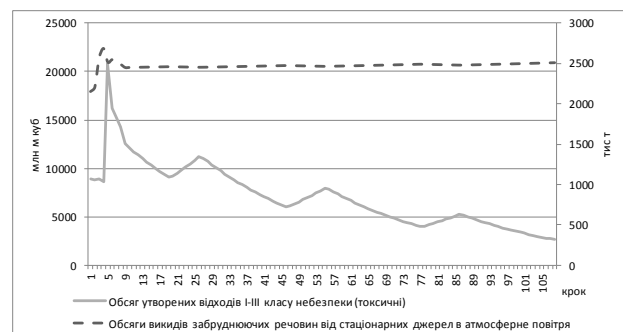


Рис. 3. Динаміка показників забруднення довкілля за інерційним сценарієм

відходів і рівень забруднення атмосферного повітря збільшилися. Відносно обсягів виробництва суттєвих змін не спостерігається. Слід відзначити, що збільшилась частка підприємств з еко-інноваційною стратегією поведінки. Це пояснюється їх орієнтацією на зменшення витрат, тому в умовах зменшення розміру чистого прибутку це набуває додаткової конкурентної переваги.

Реалізація третього сценарію призводить до збільшення чистого прибутку, що залиша-

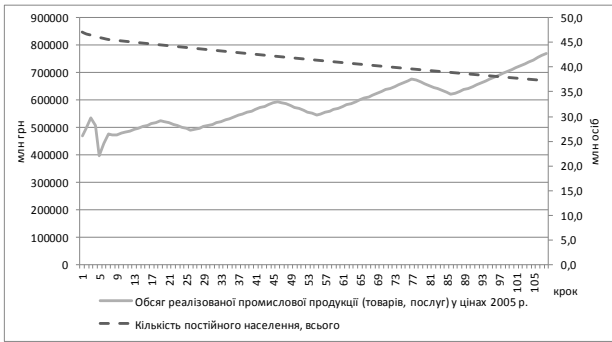


Рис. 4. Динаміка показників «чисельність населення» та «обсяг реалізованої продукції» за 2 сценарієм

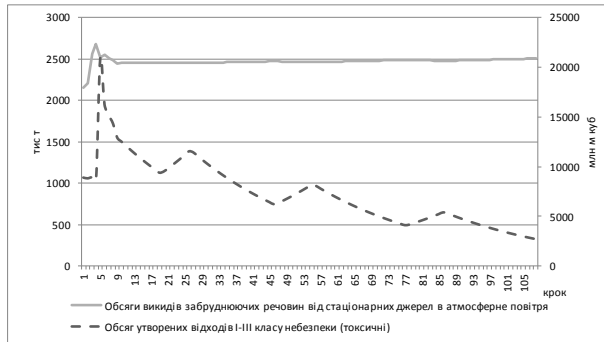


Рис. 5. Динаміка показників забруднення довкілля за сценарієм збільшення податку на прибуток

Таблиця 2

Результати сценарного моделювання

Показник	База	Сценарій 2	Сценарій 3
	Середньорічний темп зростання показника		
Обсяг реалізованої продукції	1,005	1,005	1,006
Чисельність постійного населення	0,998	0,998	0,998
Обсяг утворених відходів I–III класу небезпеки (токсичні)	0,985	0,986	0,984
Обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел в атмосферне повітря	1,001	1,002	1,001
Питома вага			
Частка підприємств з еко-інноваційною стратегією поведінки	0,58	0,59	0,61
Частка підприємств із ресурсоемною стратегією поведінки	0,42	0,41	0,39

ється у розпорядженні підприємства, і буде сприяти підвищенню інвестиційної активності за рахунок збільшення чистого прибутку підприємства. Результати за цим сценарієм наведено на рис. 6 і 7. Відповідно до цих рисунків зростання забруднення навколишнього природного середовища у разі реалізації цього сценарію не відбувається. Це пов'язано з тим,

що зростає частка підприємств з еко-орієнтованою стратегією, яка менш згубно впливає на довкілля.

Отже, проведені експерименти дозволяють зробити декілька висновків. По-перше, екологічно орієнтована стратегія більш адаптивна та стійка до кризових явищ. Це пов'язано з тим, що підприємства, які її використовують,

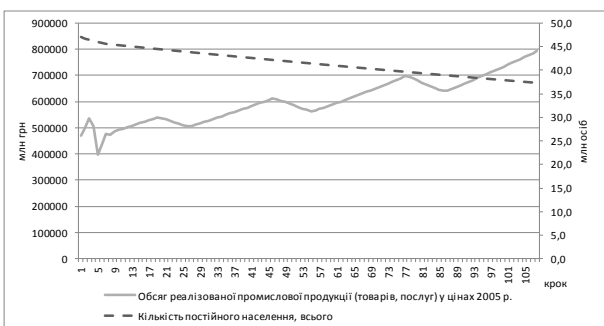


Рис. 7. Динаміка показників «чисельність населення» та «обсяг реалізованої продукції» за 3 сценарієм



Рис. 8. Динаміка показників забруднення довкілля за сценарієм зменшення податку на прибуток

мають більший запас фінансової стійкості, пов'язаний зі зменшенням витрат на виробництво продукції. По-друге, моделювання показало, що еко-орієнтована стратегія не є достатньо привабливою у короткостроковому періоді, проте у довгостроковому вона дозволяє досягти більш ефективних результатів, ніж ресурсоемна. Третій висновок полягає у тому, що промислові підприємства, яка використовують такі інструменти екологічно орієнтованого управління як упровадження еко-інновацій, зменшення матеріальних витрат на виробництво, підвищення ефективності використання ресурсів суттєво зменшують залежність від кризових явищ в економіці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шигун М. М. Бібліометрія розвитку економічного моделювання: наукова, науково-методична та навчальна література / М. М. Шигун // Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу : міжнар. зб. наук. пр. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – Вип. 1 (10). – 376 с.
2. Власов М. П. Моделирование экономических систем и процессов / М. П. Власов, П. Д. Шимко. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 336 с.
3. Маркин Ю. П. Математические методы и модели в экономике / Ю. П. Маркин. – М. : Высш. шк., 2007. – 422 с.
4. Гинзбург А. И. Экономический анализ: Предмет и методы. Моделирование ситуацией. Оценка управленческих решений / А. И. Гинзбург. – С.Пб. : Питер, 2011. – 448 с.
5. Вітлінський В. В. Моделювання економіки : навч. посіб. / Вітлінський В. В. – К. : КНЕУ, 2003. – 408 с.
6. Наконечний С. І. До питання математичного моделювання техніко-економічних процесів АПК / С. І. Наконечний, С. С. Савіна, Т. С. Наконечний // Економіка АПК. – 2009. – № 1. – С. 16–22.
7. Нельсон Р. Р. Эволюционная теория экономических изменений / Р. Р. Нельсон, С. Дж. Уинтер ; пер. с англ. М. Я. Каждана ; науч. ред. пер. В. Л. Макаров. – М. : Дело, 2002. – 536 с.
8. Polovyan A. Scenarios of the old industrial regions' development: selecting the methodology / A. Polovyan, I. Aleksandrov, V. Vishnevsky // Environment, Development and Sustainability. – 2011. – Vol. 13, № 1. – Pp. 65–78.
9. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Г. Карпов. – С.Пб. : БХВ-Петербург, 2006. – 390 с.

І. А. Брижань, кандидат економічних наук (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка). **Моделювання екологічних наслідків розвитку промисловості.**

Анотація. В дослідженні пропонується процес розвитку промисловості в умовах циклическості моделювати з використанням агентного і системно-динамічного моделювання. Це дозволить урахувати особливості процесу прийняття інвестиційних рішень на рівні окремого суб'єкта і оцінити вплив промисловості на стан навколишньої природної середовища. Авторами розроблена модель, описуюча динаміку промислової системи, її вплив на екологічний стан території, а також особливості інвестиційно-інноваційного процесу, що відбувається на промислових підприємствах України, і дозволяє відобразити особливості ресурсоемких і еко-інноваційної стратегії підприємств.

Ключові слова: екологічно орієнтоване розвиток, промисловість, циклическість.

I. A. Bryzhan, Cand. Econ. Sci. (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University). **Modeling of environmental impact of industry.**

Summary. The study proposed to simulate cyclic process of industrial development with the use of agent-based and system-dynamic modeling. This will allow to take into account the peculiarities of investment decisions at the level of individual enterprises and to assess the impact of industry on the

environment. The authors developed a model that describes the dynamics of the industrial system and its impact on the ecological status of the territory as well as peculiarities of investment and innovation process at the industrial enterprises of Ukraine. This model allows to show the features of resource-intensive and eco-innovation strategies of enterprises.

Keywords: *environmentally oriented development, industry cyclicity.*