

МОДЕЛЮВАННЯ, ІМІТАЦІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ Й УПРАВЛІННІ

УДК 330.3: 330.4: 338.2

DOI: 10.26565/2311-2379-2018-95-06

Т.В. Меркулова, О.В. Томілович

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

E-mail: tamara.merkulova@karazin.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3507-5593>

МАКРОЕКОНОМІЧНА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ З ВРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ (НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНИ)

Загострення екологічних проблем, які пов'язані з економічною діяльністю людини, поширення цього явища на всі (без винятку) регіони та державу світу, зумовлює актуальність і глобальність цього питання в наш час, показує необхідність проведення досліджень щодо вивчення взаємозв'язків між економічним розвитком і природними змінами для пошуку шляхів вирішення протиріч між ними. Важливу роль в таких дослідженнях відіграють економіко-математичні моделі, що дозволяють кількісно оцінити ці взаємозв'язки, проводити багатоваріантні розрахунки з метою пошуку ефективних варіантів економічного розвитку з урахуванням екологічної складової.

Метою даної роботи є розробка макроекономічної динамічної моделі з урахуванням екологічних факторів на підставі модифікації динамічної інтегрованої моделі економіки та клімату Вільяма Нордгауза (модель DICE) та її апробація на основі даних по Україні.

У статті розглянуті наступні результати дослідження: проведений огляд основних припущень моделі Нордгауза; розроблено макроекономічну динамічну модель з врахуванням екологічних факторів за рахунок модифікації моделі Нордгауза; проведено оцінку параметрів модифікованої моделі на основі даних по Україні; створено системно-динамічну реалізацію цієї моделі; проведено експерименти з системно-динамічною реалізацією моделі; здійснено інтерпретацію результатів експериментів.

Дослідження було проведено за допомогою методів математичного та системно-динамічного моделювання, статистичних методів, економетричного моделювання, з використанням програм Vensim та Microsoft Excel (зокрема інструменту Regression пакету Data Analysis).

За результатами експериментів були надані кількісні оцінки певним взаємозв'язкам між економічним розвитком та деякими змінами природи і обґрунтовано висновок щодо можливості використання модифікованої моделі для аналізу та узгодження економічної та екологічної складової.

Ключові слова: модель Нордгауза, екологічні фактори розвитку, навколишнє середовище, сталий розвиток.

JEL Classification: Q 5, O 13, C 5, C 6.

Tamara Merkulova, Oleksiy Tomilovych

V.N. Karazin Kharkiv National University

4 Svobody sq., 61022, Kharkiv, Ukraine

E-mail: tamara.merkulova@karazin.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3507-5593>

MACROECONOMIC DYNAMIC MODEL WITH ENVIRONMENTAL FACTORS (ON THE CASE OF UKRAINE)

The aggravation of environmental problems, related to human economic activity, and the spread of the phenomenon to all (without exception) regions and states of the world determine relevance and global dimension of this issue in these times and show the need for research on the relationship between economic development and nature change to find ways to resolve their contradiction. Economic mathematical models play a significant role in such research as they allow quantitative estimation of these interconnections and multivariate calculations in order to find effective alternatives for economic development with an environmental dimension.

The objective of this study is to develop the macroeconomic dynamic model with environmental factors by modifying William Nordhaus Dynamic Integrated Climate-Economy Model (DICE model) and test it on the data of Ukraine.

This article contains the following research results: the main assumptions of the Nordhaus model were outlined; the macroeconomic dynamic model with environmental factors was developed by modifying the Nordhaus model; the parameters of the modified model were estimated on the data of Ukraine; the system-dynamic implementation of the model was developed; experiments with the system-dynamic implementation of the model were conducted; the results of the experiments were interpreted.

The research was conducted with methods of mathematical and system-dynamic modeling, statistical methods, econometric modeling, Vensim and Microsoft Excel programs (the Data Analysis Regression tool in particular).

Based on the above, some patterns between economic development and nature changes were found, which confirmed the possibility of using the modified model for analyzing and reconciling these components.

Key words: Nordhaus model, environmental factors of development, environment, sustainable development.

JEL Classification: Q 5, O 13, C 5, C 6.

Т.В. Меркулова, А.В. Томилович

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина

E-mail: tamara.merkulova@karazin.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3507-5593>

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ УКРАИНЫ)

Обострение экологических проблем, которые связаны с экономической деятельностью человека, распространение этого явления на все (без исключения) регионы и государства мира, обуславливает актуальность и глобальность этого вопроса в наше время, показывает необходимость проведения исследований касательно взаимосвязей между экономическим развитием и природными изменениями для поиска путей разрешения противоречий между ними. Важную роль в таких исследованиях играют экономико-математические модели, что позволяют количественно оценить эти взаимосвязи, проводить многовариантные расчеты с целью поиска эффективных вариантов экономического развития с учетом экологической составляющей.

Целью данной работы есть разработка макроэкономической динамической модели с учетом экологических факторов на основании модификации динамической интегрированной модели экономики и климата Уильяма Нордхауса (модель DICE) и ее апробация на основании данных по Украине.

В статье рассмотрены следующие результаты исследования: проведен осмотр основных допущений модели Нордхауса; разработано макроэкономическую динамическую модель с учетом экологических факторов за счет модификации модели Нордхауса; проведено оценку параметров модифицированной модели на основании данных по Украине; создано системно-динамическую реализацию этой модели; проведено эксперименты с системно-динамической реализацией модели; осуществлено интерпретацию результатов эксперимента.

Исследование было проведено с помощью методов математического и системно-динамического моделирования, статистических методов, эконометрического моделирования, с использованием программ Vensim и Microsoft Excel (в частности инструмента Регрессия пакета Анализ данных).

По результатам экспериментов были предоставлены количественные оценки определенным взаимосвязям между экономическим развитием и некоторыми изменениями природы и обоснован вывод о возможности использования модифицированной модели для анализа и согласования экономической и экологической составляющей.

Ключевые слова: модель Нордхауса, экологические факторы развития, окружающая среда, устойчивое развитие.

JEL Classification: Q 5, O 13, C 5, C 6.

Актуальність дослідження та аналіз досліджень та публікацій

Дослідження впливу економічної діяльності людини на природу, навколишнє середовище, клімат стало особливо актуальним з початку XXI ст. Це можна пояснити загостренням екологічних проблем по всьому світу, тобто негативною зворотною реакцією природи на діяльність людини — “помстою природи”.

В Україні такі дослідження носять здебільшого теоретичний характер (Зварич, 2016), основні постулати якого запозичені з іноземних робіт, або розглядають односторонній вплив

змін клімату на певну галузь, зазвичай сільське господарство (Нечипоренко, 2016), як найуразливіше до цих процесів. І тільки в останні роки з'явилися роботи, що більш-менш різносторонньо розглядають взаємозв'язки між природою та економікою в масштабі України (Двуліт, 2015), (Горобець, 2017).

Початком системних закордонних досліджень цієї проблематики прийнято вважати ідеї Римського клубу (Club of Rome) та концепцію сталого розвитку (Meadows & al., 1972). Саме з них зміни природи почали розглядатися, з одного боку, як наслідок економічного розвитку і, з іншого, як його фактор.

З самого початку таким взаємозв'язкам прагнули дати кількісну оцінку. Якщо спочатку такі оцінки носили експертний характер (так, Тол вказує, що ще в 1979 р. д'Арж оцінив відсоток втрат економіки від глобального потепління (Tol, 2018)), то згодом на зміну їм прийшли економіко-математичні моделі, які могли не тільки описувати взаємозв'язки, але й давати прогнози щодо них (Tol, 2018), (Nordhaus, 2013).

На сьогоднішній день, як кількісна характеристика взаємовпливу економіки та природи, використовується показник "the social cost of carbon (SCC)" (Nordhaus, 2013&2016), (Tol, 2018), (Auffhammer, 2018), що може бути перекладено як суспільна вартість вуглецю — приблизні економічні втрати в майбутньому від випуску 1 т діоксиду вуглецю сьогодні. Ця характеристика використовується, зокрема, й для встановлення податків на викиди, дозволяючи в певній мірі регулювати їх.

В основі цієї роботи лежить динамічна інтегрована модель клімату та економіка В. Нордгауза, в якій він включив кліматичні зміни до довгострокового економічного аналізу, за що отримав Нобелівську премію з економіки 2018 р. У статті представлено авторську модифікацію цієї моделі та результати її апробацію на основі даних по Україні.

Модифікована макроекономічна модель

В основі оригінальної моделі Нордгауза лежать наступні припущення:

- для споживання та заощадження використовується чистий продукт — валовий продукт за вирахуванням втрат від зміни клімату та витрат на скорочення викидів;
- в процесі виробництва відбуваються викиди діоксиду вуглецю, пропорційні валовому продукту;
- збільшення викидів діоксиду вуглецю опосередковано призводить до підвищення температури повітря;
- підвищення температури призводить до збільшення втрат від зміни клімату;
- витрати на скорочення викидів пропорційні валовому випуску;
- коефіцієнти пропорційності викидів та витрат валовому продукту змінюються з часом, відображаючи вплив науково-технічного розвитку.

Відповідно до основних положень моделі Нордгауза, було розроблено модифіковану макроекономічну динамічну модель з врахуванням екологічних факторів з наступними рівняннями.

Величина кінцевого продукту скорочується на величину витрат, пов'язаних з кліматом та екологією

$$Q(t)=Y(t)-TC(t),$$

$Q(t)$ — чистий кінцевий продукт, $Y(t)$ — валовий внутрішній продукт, $TC(t)$ — витрати на охорону атмосферного повітря та проблеми зміни клімату.

Саме чистий кінцевий продукт $Q(t)$ використовується для споживання та заощадження

$$Q(t)=C(t)+I(t),$$

$C(t)=(1-s)Q(t)$ — кінцеве споживання, $I(t)=sQ(t)$ — капітальні інвестиції, $1-s$ і s — фіксована норма споживання та заощадження відповідно.

Валовий внутрішній продукт $Y(t)$ моделюється за виробничою функцією Кобба-Дугласа

$$Y(t)=AK(t)^\alpha L(t)^{1-\alpha},$$

A — технологічний коефіцієнт, $K(t)$ — вартість основних засобів, $L(t)$ — чисельність зайнятого населення, α і $1-\alpha$ — коефіцієнт еластичності випуску по капіталу та трудових ресурсах відповідно.

Динаміка змінної $L(t)$ описується експоненціальним законом

$$L(t)=L_0 e^{nt}.$$

Зміна величини капіталу $K(t)$ відбувається з урахуванням інвестицій та амортизації

$$K(t+1)=K(t)+I(t)-D(t),$$

Змінні "... попереднього періоду" цієї моделі задані на рівні 2016 р., змінні-рівні — 2017 р. На її основі були проведені експерименти: багаторазові прогони моделі на протязі 20 тактів для різних значень деякого параметра при початковому рівні інших змінних заради виявлення чутливості деяких змінних, визначених як контрольні. Такими змінними були обрані ВВП, споживання, викиди та витрати, а також їхні подушні аналоги. Досліджуваними параметрами, в свою чергу, виступили: коефіцієнт еластичності випуску по капіталу α , норма заощадження s , норма амортизації d_k , темп приросту населення n , параметр викидів σ_0 , параметр витрат θ_0 , температурний коефіцієнт ϕ_0 .

Висновки

На підставі експериментів були отримані наступні результати.

Зміні параметра α відповідає зміна динаміки ВВП: при менших значеннях спостерігається швидше падіння, при більших — швидше зростання, проте темп зміни ВВП збігається до темпу зміни чисельності зайнятого населення.

При зміні норми заощадження s спостерігається зміна динаміки загального та подушного споживання: більшим значенням параметра відповідає прогаш на початку, який компенсується кращим ефектом в довгостроковій перспективі та навпаки.

З іншого боку, було виявлено, що темп зміни викидів збігається до значення $e^{n+\sigma_1}$, якщо $n+\sigma_1 \leq 1$. Також, за умови падіння або стабілізації рівня викидів, темп зміни витрат сходиться до значення $e^{n+\theta_1}$, а подушних викидів і витрат — e^{σ_1} і e^{θ_1} відповідно.

У цілому дослідження з побудована модель зберігає основні закономірності макроекономічних динамічних моделей, заснованих на неокласичній виробничій функції. Великим значенням параметра викидів σ_1 та витрат θ_1 відповідає падіння екологічних характеристик виробництва, що негативно впливає на навколишнє середовище, призводить до збільшення витрат і зменшення споживання.

Розроблені моделі можуть бути використані як інструмент якісного та кількісного аналізу взаємозв'язків між економічними та екологічними факторами для пошуку ефективних шляхів узгодження їх впливу на добробут населення.

Література

1. Зварич І. Сучасні глобальні екологічні ризики. Вісник *Тернопільського національного економічного університету*. 2016. Вип. 4. С. 95–101.
2. Нечипоренко О. Стан та перспективи адаптації аграрного сектору економіки України до глобальних змін клімату. *Економіст*. 2016. №11. С. 10–14.
3. Двудіт З. Еколого-економічна оцінка впливу викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферне повітря від рухомого складу залізничних підприємств України. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Сер.: Економіка і управління*. 2015. Вип. 32. С. 52–65.
4. Горобець О.В. Економічні збитки внаслідок викидів парникових газів зі звалищ твердих побутових відходів у Житомирській області. Наука. Освіта. Практика: матеріали наук.-практ. конф., присвяч. 20-річчю фак. екології і права ЖНАЕУ, 12 жовт. 2017 р. Житомир: Укрєкобіокон, 2017. С. 93-97.
5. Club of Rome. URL:<https://www.clubofrome.org>
6. Meadows, D.H., Randers, J., Meadows, D.L., Behrens, W.W. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, 1. Universe Books, 1972. 211 p.
7. Tol, R.S.J. The Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2018. 12(1), 4-25.
8. Nordhaus, W. with Sztorc, P. DICE-2013R: Introduction and User's Manual. 2013. URL: http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/homepage/documents/DICE_Manual_100413r1.pdf
9. Nordhaus, W.D. Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114(7), 1518-1523.
10. Auffhammer, M. Quantifying Economic Damages from Climate Change. *Journal of Economic Perspectives*, 2018, 32(4), 33-52.
11. Державна служба статистики України. URL: <http://ukrstat.gov.ua>

References

1. Zvarych I. (2016). Current global environmental risks. Bulletin of Ternopil National Economic University, 4 issue, 95-101. (In Ukrainian)
2. Nechyporenko O. (2016). Status and prospects of the Ukrainian economy's agricultural sector adaptation to global climate changes. Ekonomist, №11, 10-14. (In Ukrainian)
3. Dvulit Z. (2015). Ecological and economic evaluation of influence of emissions of pollutants and greenhouse gases into the air from rolling stock of Ukrainian railways enterprises. Collection of research works of State Economy and Technology University of Transport. Ser.: Economics and management, 32 issue, 52-65. (In Ukrainian)
4. Gorobets O.V. (2017). Economic losses due to greenhouse gas emissions from solid waste landfills in Zhytomyr region. Science. Education. Practice: Proceedings of the Scientific and Practical Conference devoted to the 20-th anniversary of the Faculty of Ecology and Law of ZhNAEU, 12 Oct., 2017. Zhytomyr: Ukrecobiocon: 93-97. (In Ukrainian)
5. Club of Rome. Retrieved from <https://www.clubofrome.org>
6. Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L., & Behrens W.W. (1972). The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Books, 211
7. Tol R.S.J. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. Review of Environmental Economics and Policy, 12(1), 4-25.
8. Nordhaus W., & Sztorc P. (2013). DICE-2013R: Introduction and User's Manual. Retrieved from http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/homepage/documents/DICE_Manual_100413r1.pdf
9. Nordhaus W.D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(7), 1518-1523.
10. Auffhammer M. (2018). Quantifying Economic Damages from Climate Change. Journal of Economic Perspectives, 32(4), 33-52.
11. State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from <http://ukrstat.gov.ua>