

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РАВНОВЕСИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МАКРОСИСТЕМЫ

*Данная статья посвящена исследованию устойчивости экономических макросистем при помощи разработанной модели экономического равновесия. Для наглядной демонстрации работы модели сравнивается экономическая ситуация в Украине и в странах с наиболее устойчивой экономикой, в частности с Норвегией и Швецией. В работе проводится численный эксперимент, результаты которого используются для обоснования возможности практического применения разработанной модели для исследования устойчивости экономических макросистем.*

**Ключевые слова:** экономическая макросистема, устойчивость, устойчивое развитие, экономическое равновесие.

*Статтю присвячено дослідженню стійкості економічних макросистем за допомогою розробленої моделі економічної рівноваги. Для наочної демонстрації роботи моделі порівнюється економічна ситуація в Україні та країнах із найбільш сталою економікою, зокрема з Норвегією та Швецією. У роботі проводиться чисельний експеримент, результати якого використовуються для обґрунтування можливості практичного застосування розробленої моделі для дослідження економічних макросистем на стійкість.*

**Ключові слова:** економічна макросистема, стійкість, сталий розвиток, економічна рівновага.

*This article is devoted to the study of macroeconomic stability through developed model of economic equilibrium. The demonstration of the model is carried out by comparing the economic situation in Ukraine and in the countries with the most stable economies, in particular with Norway and Sweden. The numerical experiment was conducted in this work, the results of which are used to justify the possibility of practical application of the model for the study of macroeconomic stability.*

**Key words:** economic macro system, stability, sustainable development, economic equilibrium.

**Введение.** Высокие темпы истощения мировых природных ресурсов, загрязнение окружающей среды, неутрачиваемые военные конфликты, резкое социальное неравенство, предельный уровень нищеты в странах третьего мира, коррупционность власти – вот далеко не полный перечень проблем, порожденных несовершенством мировой экономики [1].

Начиная с формирования глобальной проблемы в «Римском клубе» 1972, на рубеже XX и XXI веков мировое сообщество начало в полной мере осознавать опасность вышеуказанных глобальных проблем и предпринимать адекватные меры реагирования. Так, между странами, обладающими ядерными технологиями, был подписан Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [2], разработана Программа ООН по защите окружающей среды [3], создан Комитет по всемирной продовольственной безопасности [4] и т. п.

Однако эффективных методов борьбы с наиболее серьезными кризисными явлениями у

мирового сообщества по-прежнему нет. Несмотря на многочисленные попытки улучшить общее состояние глобальной экономики, она продолжает оставаться нестабильной и депрессивной, о чём свидетельствует мировой финансово-экономический кризис 2008-2009 гг., из которого многие страны окончательно не вышли до сих пор. Он привел не только к обострению существовавших ранее проблем, но и к возникновению новых, усугубленных несоразмерностью его последствий в различных регионах мира. Негативные последствия кризиса различались по странам и регионам, в зависимости от уровня развития экономики государства и ее «запаса прочности», однако в целом набор социальных проблем получился один для всех:

- быстрый рост безработицы, нищеты и голода;
- замедление темпов роста экономики, сокращение экономической активности;
- отрицательный торговый и платежный баланс;

- уменьшение притока прямых иностранных инвестиций;
- частые и значительные колебания валютных курсов;
- рост бюджетного дефицита, снижение налоговых поступлений и сужение пространства для маневра в бюджетно-финансовой сфере;
- сокращение объема мировой торговли;
- усиление факторов нестабильности и падение цен на сырьевые ресурсы и др. [5].

**Постановка задачи.** Несмотря на то, что основная волна кризиса прошла, его негативные последствия продолжают нести немалую угрозу мировой экономике, при этом многие симптомы свидетельствуют о приближении второй волны кризиса (рост цен на нефтепродукты и продукты питания, «кипрский прецедент» [6]) и т.п.

Современная экономическая наука оказалась пока не в состоянии предложить эффективную формулу решения вышеуказанных проблем. И этот синдром беспомощности неприятнее любого кризиса. Отсутствие в мировой экономике действенных механизмов саморегулирования и оздоровления может привести уже в недалеком будущем к глобальному экономическому коллапсу. Назрела необходимость формирования новой мировой экономической доктрины, целостного и объективного восприятия принципов функционирования экономики, другими словами – неких обязательных для всех государств «правил игры», соблюдение которых позволит обеспечивать как стабильность экономического роста национальных экономик и их устойчивость к воздействию внешних и внутренних возмущающих факторов, так и их положительное взаимодействие.

В настоящей статье выполняется исследование модели равновесия экономической макросистемы, приведенной в [7].

**Устойчивое развитие экономики.** В последние десятилетия в мировой экономической науке все больше внимания уделяется изучению такого понятия, как устойчивое развитие. Понятие устойчивости экономической системы многогранное и разными научными школами трактуется по-разному, однако, несмотря на различия в формулировках, суть этого понятия остается практически неизменной. В частности, под устойчивостью развития экономики понимается непрерывность процесса оптимального прибыльного взаимодействия всех её элементов. Проявляющиеся при этом дочерние связи между ними позволяют максимально долго поддерживать жизненно важные параметры деятельности системы в состоянии стабильного и сбалансированного роста, необходимого как для достижения её основных целей, так и для эффективного и своевременного противодействия возмущающим циклам внешней среды [8].

Данное определение довольно точно раскрывает понятие устойчивости экономики, однако не даёт ясного представления о том, как практически

определять степень этой устойчивости, не говоря уже о том, чтобы управлять этим процессом. Описательный характер исследований в области устойчивого развития экономики [8] не даёт конкретных методик и рекомендаций. Возникает необходимость строгой формализации данного понятия с целью разработки унифицированной методологии, которая бы позволяла не только объективно и максимально точно определять степень устойчивости экономики, но и подбирать в каждом конкретном случае наиболее эффективные инструменты управления экономической системой для обеспечения ее устойчивого развития. Данная статья как раз и посвящена этим вопросам.

**Формализация понятия устойчивости развития экономики.** Одним из наиболее часто используемых подходов, применяемых при формализации понятия устойчивости, является распространённое формальное определение данного параметра, соответствующее понятию устойчивости по Ляпунову.

Устойчивость по Ляпунову предполагает устойчивость некоторой системы относительно её равновесных состояний (будет ли система стремиться к состоянию равновесия, или же наоборот, отдаляться от него). Использование данной теории даёт возможность понять природу взаимосвязей между такими понятиями, как экономическая устойчивость и экономическое равновесие (на данный момент категории «экономическая устойчивость» и «экономическое равновесие» трактуются вне зависимости друг от друга).

Таким образом, прежде чем перейти непосредственно к формализации понятия устойчивости экономической системы, необходимо определить формальные признаки экономического равновесия.

При формализации понятия равновесного состояния макросистемы предполагается, что это равновесие достигается при сбалансированности совокупного спроса и совокупного предложения (модель AD-AS [9]), а также при соблюдении трех следующих обязательных условий (модель IS-LM-VP [10]):

- равенство валовых инвестиций и валового накопления ( $I = S$ , где  $I$  – валовые инвестиции,  $S$  – валовое накопление);
- равенство денежного спроса и денежного предложения ( $L = M$ , где  $L$  – спрос на деньги,  $M$  – денежная масса в макросистеме (денежное предложение));
- равновесие платёжного баланса ( $BP = 0$ , где  $BP$  – платёжный баланс).

Аспект равновесия  $L = M$  намеренно опускается по причине невозможности его практического применения для предлагаемой модели (невозможно с приемлемой точностью оценить спрос на денежную массу).

С учетом вышеизложенного, равновесие макросистемы достигается одновременным выполнением следующих условий [7]:

$$\begin{cases} AD = AS \\ I = S \\ BP = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Пусть  $\Omega = \{\omega : \omega = \omega(AD, AS, I, S, BP)\}$  – пространство состояний макросистемы.

Пусть задано отображение  $\varphi : \Omega \rightarrow R^3$ , действующее по правилу:

$$\varphi(\omega(AD, AS, I, S, BP)) = \ln \left( \begin{pmatrix} AD-AS \\ I-S \\ BP \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} r \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \right) = \ln \begin{pmatrix} r \\ y+1 \\ 1 \end{pmatrix} = \vec{y}. \quad (2)$$

Тогда, согласно определению (1), уравнение

$$\dot{\vec{y}} = \vec{0} \quad (3)$$

будет характеризовать состояние равновесия макросистемы. При этом естественно будет

$$\omega(t) = \omega(AD(t), AS(t), I(t), S(t), BP(t)). \quad (4)$$

Тогда кривая  $\omega(t), t \in T$  в пространстве  $\Omega$  – траектория развития макросистемы, где  $T$  – исследуемый промежуток времени.

При отображении  $\varphi(\omega(t)) = \vec{y}(t), t \in T$  получаем кривую в пространстве  $R^3$ .

Пусть кривая  $\vec{y}(t)$  – дифференцируемая в каждый момент времени  $t \in T$ , а так же  $\vec{y}(t)$  является одним из решений линейной динамической системы дифференциальных уравнений

$$\vec{y}'(t) = A\vec{y}(t) + \vec{f}(t). \quad (5)$$

При этом:

$$\|\vec{f}(t)\|_1 = \inf_{f \in C} \|\vec{f}(t)\|,$$

где  $C$  – класс непрерывных функций,

$$\|\vec{f}(t)\|_1 = \sqrt{\|f_1(t)\|^2 + \|f_2(t)\|^2 + \|f_3(t)\|^2},$$

$$\|x(t)\| = \max_t \{x(t)\}.$$

Согласно определению устойчивости по Ляпунову [11], решение  $\vec{y}(t)$  системы дифференциальных уравнений (5) устойчиво, если для любых  $t_0 \in T$  и  $\varepsilon > 0$  существует  $\delta > 0$ , зависящее только от  $\varepsilon$  и  $t_0$  и не зависящее от  $t$ , такое, что для всякого  $\vec{y}_0$ , для которого  $\|\vec{y}_0\| < \delta$ , решение  $\vec{y}$  системы с начальными условиями  $\vec{y}(t_0) = \vec{y}_0$  продолжается на всю полуось  $t > t_0$  и удовлетворяет неравенству  $\|\vec{y}(t)\| < \varepsilon$ .

Линейная система (5) называется устойчивой (вполне неустойчивой), если все её решения устойчивы (соответственно – неустойчивы) по Ляпунову [11].

$$\vec{y}'(t) = A\vec{y}(t) \quad (6)$$

считать, что вектор  $\vec{y}$  характеризует отклонение макросистемы от равновесного состояния.

Зададим отображение  $\omega(\cdot) : R \rightarrow \Omega$ , которое каждому моменту времени  $t$  ставит в соответствие состояние макросистемы в данный момент времени:

Устойчивость линейной системы (5) эквивалентна устойчивости соответствующей однородной системы (6). Однородная система (6) устойчива тогда и только тогда, когда устойчивым является её нулевое решение [11].

Линейная однородная система  $\vec{y}'(t) = A\vec{y}(t)$  с постоянной матрицей  $A = \{a_{ij}\}_{i,j=1}^3$  устойчива тогда и только тогда, когда все собственные значения  $\lambda_j, j = \overrightarrow{1,3}$  матрицы  $A$  обладают неположительными вещественными частями, т. е.  $\text{Re } \lambda_j \leq 0, j = \overrightarrow{1,3}$ , причём собственные значения  $\lambda_j$ , имеющие нулевые вещественные части, характеризуются тем свойством, что соответствующие им клетки Жордана сводятся к одному элементу (т. е. допускают лишь простые делители, что равносильно выполнению равенства  $n - \text{rang}(A - \lambda_j I) = k_j$ , где  $k_j$  – кратность корня  $\lambda_j$ ) [11].

Поскольку решение динамической системы  $\vec{y}(t)$  описывает траекторию развития макросистемы, то факт  $\vec{y}(t) \rightarrow \vec{y}_{eq}(t)$ , где  $\vec{y}_{eq}(t)$  – равновесное состояние системы (5) (выполняется при условии устойчивости системы) будет означать, что данная макросистема стремится к некоторому устойчивому состоянию, характеризующемуся кривой  $\vec{y}_{eq}(t)$ , и чем меньше норма  $\|\vec{y}_{eq}(t)\|$  (и, соответственно  $\|\vec{f}(t)\|_1$ ), тем ближе это состояние к равновесному.

Каждой макросистеме соответствует некоторая линейная динамическая система (5), исследование которой позволяет делать вывод об устойчивости/неустойчивости макросистемы.

Корректность данных действий обусловлена тем, что для любой макросистемы существует динамическая система дифференциальных уравнений (5), что подтверждено путем конструктивного построения указанной системы дифференциальных уравнений [7].

В соответствии с этим мы получаем формальное определение устойчивости экономической системы. Экономическая система устойчива тогда и только тогда, когда устойчива соответствующая ей система дифференциальных уравнений (5).

В результате построения системы дифференциальных уравнений (5) матрица  $A$  является функцией вектора  $X(t)$ :

$$A = A(X(t)),$$

где  $Y'(t) = A(X(t))Y(t) + f(t)$  – построенная система линейных дифференциальных уравнений, соответствующая исследуемой экономической макросистеме;  $X(t) = X = \{X_i, i=1, n\}$  – вектор

факторов, влияющих на развитие экономики, со следующими компонентами:

$$X_i = \{X_{ik}, i_k = 1, n_i\}, X_{ik} = \{X_{ikj}, i_k = 1, n_{ik}\} [7].$$

Структура вектора  $X$  возможных макроэкономических показателей приведена в таблице 1.

Таблица 1

Структура вектора  $X$  макроэкономических показателей

$X_1^P$ – внешний сектор	
	$X_{11}^P$ – государственный долг
	$X_{111}$ – сектор государственного управления
	$X_{112}$ – органы денежно-кредитного регулирования
	$X_{113}$ – банки
	$X_{114}$ – другие секторы
$X_{12}^P$ – динамика международной инвестиционной позиции	
	$X_{121}$ – сальдо прямых инвестиций
	$X_{122}$ – сальдо портфельных инвестиций
	$X_{123}$ – другие инвестиции (сальдо)
	$X_{124}$ – резервные международные активы
$X_2^P$ – реальный сектор	
$X_{21}$ – государственный бюджет	
$X_{22}$ – инвестиции в основной капитал	
$X_{23}^P$ – доходы и затраты населения	
	$X_{231}$ – доходы
	$X_{232}$ – затраты
$X_{24}$ – промышленное производство	
$X_{25}^P$ – рынок труда	
	$X_{251}$ – безработица
$X_{26}$ – население	
$X_{27}^P$ – цены и тарифы	
	$X_{271}$ – индекс потребительских цен
	$X_{272}$ – индекс цен производителей промышленной продукции
$X_{28}$ – розничный товарооборот	
$X_3^P$ – финансовый сектор	

	$X_{31}^P$ – денежно-кредитная политика	
		$X_{311}$ – чистые активы центрального банка
		$X_{312}$ – другие депозитные корпорации
		$X_{313}$ – валовые депозиты (кроме центрального банка)
		$X_{314}$ – валовые кредиты (кроме центрального банка)
	$X_{32}^P$ – финансовые рынки	
		$X_{321}$ – ставка по кредитам (коммерческие банки)
		$X_{322}$ – ставка по депозитам (коммерческие банки)
		$X_{323}$ – курс национальной валюты

Таким образом, для определения устойчивости экономической макросистемы достаточно владеть информацией о значениях компонентов векторов  $X^P$  и  $Y^P$ .

**Сравнительный анализ устойчивости экономического развития Украины и наиболее развитых стран Европы.** Исследование устойчивости экономики Украины проводится согласно описанной выше модели. При этом для наглядной демонстрации работы предлагаемой модели необходимо сравнить экономическую ситуацию в Украине и в странах с наиболее устойчивой экономикой [12]. В качестве эталона выбраны Норвегия и Швеция, как страны, входящие в «Европу 5» (пять наиболее устойчивых стран мира).

Для проведения сравнительного анализа используются поквартальные данные с 2005 по 2012 г. для макроэкономических показателей

$$X^P = \{X_{i, i=1, n}^P, \vec{n}\}, \quad X_i^P = \{X_{ik}^P, i_k = 1, n_i\},$$

$$X_{ik}^P = \{X_{ik_j}, i_{k_j} = 1, n_{ik}\}, \text{ содержательные характе-}$$

ристики которых приведены в таблице 1 (32 значения для каждого показателя).

В качестве совокупного предложения используется валовый внутренний продукт (ВВП). Совокупный спрос рассчитывается по формуле:

$$AD = C + G + I + Xn,$$

где  $C$  – совокупное потребление;

$G$  – государственные расходы;

$I$  – совокупные инвестиции;

$Xn$  – чистый экспорт.

Значения макроэкономических показателей (табл.1), значения ВВП, совокупного потребления, государственных расходов, совокупных инвестиций и чистого экспорта для Украины, Норвегии и Швеции взяты, соответственно, с сайта национального банка Украины [13], а также сайтов статистических служб Норвегии [14] и Швеции [15].

В результате выполнения вычислительного эксперимента получены следующие значения матрицы  $A$ :

На следующем этапе находятся собственные значения посчитанных матриц:

Таблица 2

Значения матрицы  $A$  для разных стран

Норвегия	$A = \begin{pmatrix} 0,2769 & 0,0001 & 0,0269 \\ 0,0309 & 0,9867 & -0,0075 \\ 0,0332 & -1,2437 & 0,7605 \end{pmatrix}$
Швеция	$A = \begin{pmatrix} 0,7129 & -6,4550 & -0,0079 \\ -0,0030 & 0,8778 & -0,0003 \\ -0,6571 & 8,0767 & 0,0221 \end{pmatrix}$
Украина	$A = \begin{pmatrix} 1,1230 & 0,0565 & -1,2443 \\ 0,1967 & 1,1350 & -1,2460 \\ 0,0366 & 0,0060 & 0,9298 \end{pmatrix}$

Таблица 3

Собственные значения матрицы  $A$  для разных стран

	$Re \lambda_1$	$Re \lambda_2$	$Re \lambda_3$	$\ Re \lambda\ $
Норвегия	0,2558	0,7495	1,0188	1,2904
Швеция	0,9521	0,6451	0,0155	1,1502
Украина	1,0521	1,0521	1,0835	1,8406

**Выводы.** Как видно из приведенных результатов в табл. 3, действительные части собственных значений матриц  $A$  для всех исследуемых стран положительны, что, согласно теории Ляпунова, говорит о неустойчивом характере развития экономики. Полученный вывод согласовывается с теорией Кондратьева о цикличности развития экономики и подтверждает факт того, что реальная экономическая система всегда неустойчива и не может находиться в состоянии равновесия продолжительное время (не более 50-60 лет, согласно «теории больших циклов» Кондратьева [16]).

Анализ результатов вычислительного эксперимента (табл. 3) позволяет сделать ещё один важный вывод. Действительные части собственных чисел матрицы  $A$  для Украины

больше соответствующих значений для Норвегии и Швеции, что говорит о более неустойчивом характере развития экономики Украины в сравнении с «эталонными» странами.

При этом норма вектора действительных частей собственных чисел  $\| \operatorname{Re} \lambda \|$  может служить «мерой неустойчивости» экономики (чем меньше это значение, тем ближе состояние экономики к устойчивому, и наоборот).

Выводы, полученные по результатам настоящего исследования, вполне согласовываются с признанными на данный момент теориями в области устойчивого развития [11] и цикличности развития экономики [16], что подтверждает практическую значимость данной работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гвишиани Д. М. Аурелио Печчеи и становление глобальной проблематики / Д. М. Гвишиани // Ежегодник 1992-1994. – М. : Эдиториал УРСС, 1996. – С. 7–28. – (Серия «Системные исследования. Методологические проблемы»).
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Договор\\_о\\_всеобъемлющем\\_запрещении\\_ядерных\\_испытаний](http://ru.wikipedia.org/wiki/Договор_о_всеобъемлющем_запрещении_ядерных_испытаний).
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Программа\\_ООН\\_по\\_окружающей\\_среде](http://ru.wikipedia.org/wiki/Программа_ООН_по_окружающей_среде).
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fao.org/cfs/kvvp/ru/>.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/econcrisissummit\\_outcome.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/econcrisissummit_outcome.shtml).
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.forbes.ru/sobytiya/ekonomika/235922-kiprskii-pretседent-chem-plan-sraseniya-bankov-strany-ugrozhayet-mirovoi-ek>.
7. Панкратова Н. Д. К построению модели равновесия экономической макросистемы / Н. Д. Панкратова, А. В. Шелест // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013 – № 3.
8. Гордеев С. С. Устойчивость как свойство экономических систем [Электронный ресурс] / С. С. Гордеев. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-kak-svoystvo-ekonomicheskikh-sistem>.
9. Макконнелл К. Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю. – В 2 т. : [пер. с англ. 11-го изд.]. – М. : Республика, 1993.
10. Mundell Robert A.; 1999. «Interview with 1999 Economics Nobel Laureate Robert A. Mundell» / A. Robert Mundell. – Nobel Prize in Economics documents 1999-3, Nobel Prize Committee.
11. Ногин В. Д. Теория устойчивости движения / В. Д. Ногин. – СПбГУ : Ф-т ПМ-ПУ, 2008.
12. Рейтинг стран мира по уровню устойчивости общества – информация об исследовании [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. – Режим доступа : <http://gtmarket.ru/ratings/sustainable-society-index/info>.
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bank.gov.ua/control/uk/index>.
14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ssb.no/>.
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.scb.se/>.
16. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения : Избр. тр. / Н. Д. Кондратьев ; сост. Ю. В. Яковец. – М. : Экономика, 2002. – 767 с.

© Панкратова Н. Д., Шелест А. В., 2013

Дата поступления статьи в редколлегию 02.02.2013 г.

**ПАНКРАТОВА Наталья Дмитриевна** – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины, зам. директора Института прикладного системного анализа НТУУ «КПИ», г. Киев.

**Круг научных интересов:** системный анализ, теория риска, теория принятия решений, прикладная математика, прикладная механика, предвидение, сценарный анализ, стратегическое планирование, информационные технологии.

**ШЕЛЕСТ Антон Викторович** – магистрант Института прикладного системного анализа НТУУ «КПИ», г. Киев.

**Круг научных интересов:** системный анализ, теория принятия решений, экономика, финансы.