

# МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 330.46

**Ревенко Д.С.,**кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри економіки та маркетингу,*Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СТРУКТУРИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

**Ревенко Д.С. Метод визначення стійкості структури національної економіки України.** У статті проведено дослідження структури соціально-економічної системи. Ідентифікація структури соціально-економічного макrorівня із застосуванням математичного інструментарію є об'єктом для державного регулювання економіки. Аналіз макроекономічної системи України показав, що її структуру становлять взаємозв'язок, інтеграція, пропорції та співвідношення основних галузей і видів економічної діяльності. Для пошуку фундаментальних циклів у структурі економіки було побудовано графи. Визначено, що найближчим часом будуть спостерігатися структурні зрушення в системі, які вплинуть і на стійкість структури економіки, і на ефективність її функціонування загалом.

**Ключові слова:** стійкість, національна економіка, ідентифікація структури, міжгалузевий баланс, графи.

**Ревенко Д.С. Метод определения стойкости структуры национальной экономики Украины.** В работе проведено исследование структуры социально-экономической системы. Идентификация структуры социально-экономического макроуровня с использованием математического инструментария является объектом для государственного регулирования экономики. Анализ макроэкономической системы Украины показал, что ее структурой является взаимосвязь, интеграция, пропорции и соотношения основных отраслей и видов экономической деятельности. Для поиска фундаментальных циклов в структуре экономики были построены графы. Определено, что в ближайшее время будут наблюдаться структурные сдвиги в системе, которые повлияют и на устойчивость структуры экономики, и на эффективность ее функционирования в целом.

**Ключевые слова:** устойчивость, национальная экономика, идентификация структуры, межотраслевой баланс, графы.

**Revenko D.S. Method of determining the sustainability of the structure of the national economy of Ukraine.** In the article conducted the research of the structure of the socio-economic system. Identification of the structure of socio-economic macro level that based on mathematical tools is an object for state regulation of the economy. Consideration of the macroeconomic system of Ukraine, showed that its structure is the interconnection, integration, proportions and the ratio of major industries and types of economic activity. For the search of fundamental cycles in the structure of the economy, graphs were constructed. It is determined that in the near future there will be structural changes in the system, which will also affect the stability of the structure of the economy, and its effectiveness of functioning as a whole.

**Key words:** sustainability, national economy, structure identification, inter-industry balance, graphs.

**Постановка проблеми.** Дослідження структури соціально-економічної системи є необхідною умовою як для пізнання логіки стійкості функціонування та розвитку самої системи зсередини, так і для формулювання ефективних управлінських рішень, спрямованих на забезпечення існування і розвиток системи. Процес дослідження властивостей структури системи спрямований на виявлення і вивчення зв'язків між її елементами, їх ідентифікацію, візуалізацію та аналіз, що слугує інструментом для конкретизації законів стійкості системи та її розвитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні дослідження, що стали значним внеском

у розвиток структурного підходу до моделювання соціально-економічних систем, належать таким науковцям, як Г.Б. Клейнер, Я. Корнаї, Л.Н. Сергєєва, А.В. Бакурова, В.В. Кульба, П.Б. Миронова, В.М. Назаретова, Д.О. Новиков, А.В. Цветков, О.О. Воронін, С.П. Мішин і В.А. Овчиніков, О. Горчакова, Г.В. Горелова, О.М. Захарова, Л.О. Гініс, О.К. Єлісєєва, І.В. Прангішвілі, А.С. Харитоновна.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Нині пріоритетами в розвитку структури національної економіки є її модернізація, зниження сировинної спрямованості експорту, створення і

розвиток високотехнологічних виробництв. Однак слід зауважити, що необхідні структурні зміни відбуваються дуже повільно, що відбивається на стані стійкості всієї макроекономічної системи. Найбільш вагомими причинами цього є несприятливий інвестиційний клімат, недиверсифікована структура галузевого виробництва, недостатній рівень інституціональних перетворень, що в дійсності не реалізують відповідних реформ. Це все визначає необхідність розроблення інструментарію дослідження стійкості структури національної економіки.

**Формулювання мети статті.** Метою дослідження є розроблення модельного базису для дослідження стійкості структури національної економіки України.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для розроблення діагностичного інструменту аналізу стійкості структури соціально-економічної системи необхідно вирішити завдання ідентифікації структури цієї системи, тобто обрати статистичну базу – джерело інформації для побудови математичного опису структури соціально-економічної системи, виокремити її елементи, розрахувати зв'язки між елементами.

Аналіз макроекономічної системи України показав, що її структуру становлять взаємозв'язок, інтеграція, пропорції та співвідношення основних галузей та видів економічної діяльності, тобто це «загальна конструкція» національної економіки. Відображення структури економіки у вигляді галузевого поділу дає змогу проводити аналіз міжгалузевих пропорцій, взаємозв'язків та ефективності діяльності кожної галузі та економіки загалом. Ідентифікація структури національної економіки ускладнюється й тим, що в економіці можна виокремити понад двохсот галузей і понад п'ятисот окремих видів виробництв. Для зручності поділення й зіставлення галузей використано класифікацію видів економічної діяльності.

Як інформаційне поле відображення структури національної економіки обрано міжгалузевий баланс виробництва та розподілу продукції «витрати – випуск» (у цінах споживачів) за 2014–2016 роки [1]. Методологічні основи і практична реалізація методу викладені в праці В. Леонт'єва [2]. Використання міжгалузевого балансу дає можливість дослідити відтворення та відносини між галузями, оцінити наявні функціональні зв'язки між галузями, підгалузями, комплексами та сферами економіки, відобразити пропорції розвитку кожної галузі в загальному економічному розвитку країни. Крім того, міжгалузевий баланс є підґрунтям для побудови структурної моделі макроекономічної системи України та оцінювання її стійкості. У зв'язку з тим, що перший квадрат таблиці «витрати – випуск» складається із 42 основних галузей, а це ускладнює ідентифікацію та аналіз структури макроекономічної системи України, запропоновано об'єднати галузі за класифікаційним принципом ООН, згідно з яким до основних сфер економічної діяльності належать сільське господарство; добувна і гірничо-промисловість; обробна промисловість; постачання енергоресурсів; будівництво; оптова та роздрібна торгівля, ресторани та готелі; транспорт, зв'язок та логістика; фінанси, страхування, операції з нерухомістю.

З огляду на те, що для України досить важливими є ще й інші галузі, які формують національне господарство, запропоновано розширити перелік за рахунок

таких галузей, як хімічна промисловість, металургійна промисловість, харчова промисловість, ІТ-галузь, сектор державного управління, соціальний сектор (освіта, охорона здоров'я та спорт).

Після групування галузей таблиці «витрати – випуск» отримано спрощену таблицю, яка характеризує потоки товарів та послуг між групами галузей. Для полегшення процесу ідентифікації структури системи національної економіки запропоновано розраховувати зв'язки між галузями (елементами) системи на підставі відносних величин, а саме розраховувати відношення кожного парного значення проміжного споживання між двома галузями до сукупного споживання у всій національній економіці. Отримано матрицю відносних коефіцієнтів, які є вагами зав'язків між галузями національного господарства. Матриці відносних коефіцієнтів є аналітичним інструментом, який дає змогу виявити взаємопов'язаність галузей економіки, інакше кажучи, виміряти їхні виробничі відносини у сфері спільної діяльності або як кінцевого виробника на ринку товарів і послуг. Чим більший відносний коефіцієнт ( $k_{ij}$ ), тим щільніша взаємодія між двома галузями і тим більший внесок у сукупний продукт національного господарства.

Для фокусування уваги під час аналізу структури національної економіки на найважливіших її галузях, зв'язках між ними, а також виділення галузей з найбільшим впливом на стійкість національного господарства відбираються розраховані відносні коефіцієнти з найбільшим значенням, а саме враховуються відносні коефіцієнти зі значенням більшим за 0,5% від загального рівня сукупного споживання у всій національній економіці. Також у структурі макроекономічної системи не були враховані ті галузі, які виробляють товари або послуги для власного споживання і не пов'язані щільними зв'язками з іншими галузями ( $k_{ij} \leq 0,5\%$ ).

Результати відібрання відносних коефіцієнтів наведені в таблиці 1, тут подана матриця, яка є матрицею взаємозв'язку між галузями національного господарства України. Номер галузі в таблиці 1 відповідає нижче зазначеним номерам.

1. Сільське, лісове та рибне господарство.
2. Добувна і гірничо-промисловість.
3. Харчова промисловість.
4. Обробна промисловість.
5. Хімічна промисловість.
6. Металургійна промисловість.
7. Постачання енергоресурсів та транспортна логістика.
8. Оптова та роздрібна торгівля, ресторанна та готельна справа.
9. Продукція ІТ-індустрії.
10. Фінанси, страхування, операції з нерухомістю.
11. Дослідження, наукова та технічна діяльність.
12. Публічне управління та адміністрування.
13. Освіта, охорона здоров'я, спорт та інше.
14. Машинобудування та приладобудування.
15. Будівництво.

Проаналізувавши дані таблиці 1, можна стверджувати, що взаємозв'язки між галузями і власне споживання в самих галузях становить 79% від загального виробництва і споживання в національній економіці України.

Таблиця 1

## Матриця відносних коефіцієнтів (%) взаємозв'язку галузей національного господарства України

Номер галузі	Номер галузі														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	12.	13.	14.	15.	
1.	5,3		3,9					0,7							
2.		0,5			2,3	2,3	3,5								
3.			2,3												
4.			0,8	1,3							0,5				
5.	3,5	0,5	1,6	0,8	3,3	1,7	1,5	0,9				0,5		1,6	
6.						2,7	0,6						0,9	1,2	
7.	0,7	1,3	1,1		0,8	1,6	2,8	1,5				0,5			
8.	1		1,8		0,8	0,7	1,1	3,1						0,5	
9.								0,5	2,0						
10.			0,5				0,8	2,5		2,6					
11.								0,6							
12.							0,6								
13.												0,7			
14.	0,8						0,5	0,5					1,1		
15.														1,5	

Останнім кроком ідентифікації структури національної економіки є побудова самої структури. Спочатку побудуємо спрощену структуру національного господарства у вигляді неорієнтованого графа. Для реалізації неорієнтованого графа необхідно розрахувати сумарний товарообіг (сума вхідних і вихідних потоків між двома галузями) між галузями національного господарства. Для цього, скориставшись даними, наведеними в таблиці 1, розрахуємо суми товарообігу відносних коефіцієнтів для всіх поєднаних галузей та за допомогою програмного пакету системи комп'ютерної алгебри Maple 11 побудуємо неорієнтований граф, який наведено на рисунку 1.

Математичний опис наведеної на рисунку 1 структури системи, яка складається з набору належних до національної економіки галузей (вершин графа)

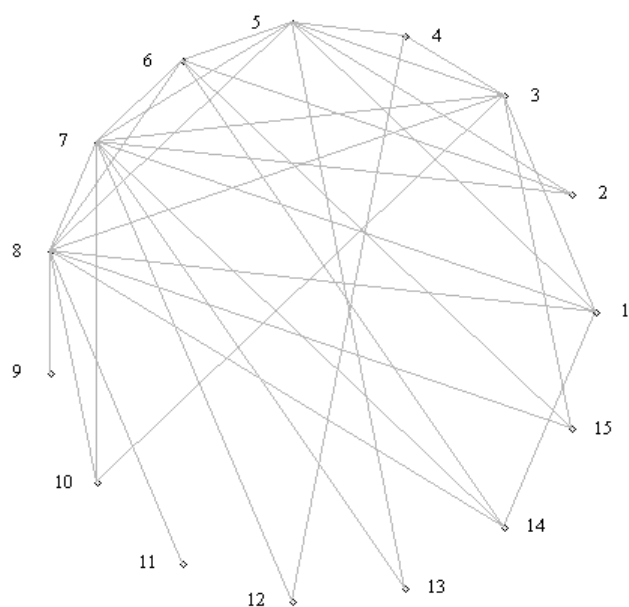


Рис. 1. Спрощена структура національної економіки у вигляді неорієнтованого графа

$\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}\}$ , може бути записаний у вигляді множини двоелементних підмножин – взаємозв'язків між цими галузями (ребрами графа):

$$G = \{ \{v_1, v_3\}, \{v_1, v_5\}, \{v_1, v_7\}, \{v_1, v_8\}, \{v_1, v_{14}\}, \\ \{v_2, v_5\}, \{v_2, v_6\}, \{v_2, v_7\}, \\ \{v_3, v_4\}, \{v_3, v_5\}, \{v_3, v_7\}, \{v_3, v_8\}, \{v_3, v_{10}\}, \{v_3, v_{15}\}, \\ \{v_4, v_5\}, \{v_4, v_{12}\}, \\ \{v_5, v_6\}, \{v_5, v_7\}, \{v_5, v_8\}, \{v_5, v_{13}\}, \\ \{v_6, v_7\}, \{v_6, v_8\}, \{v_6, v_{14}\}, \{v_6, v_{15}\}, \\ \{v_7, v_8\}, \{v_7, v_{10}\}, \{v_7, v_{12}\}, \{v_7, v_{13}\}, \{v_7, v_{14}\}, \\ \{v_8, v_9\}, \{v_8, v_{10}\}, \{v_8, v_{11}\}, \{v_8, v_{14}\}, \{v_8, v_{15}\} \}. \quad (1)$$

Якщо координати вершин прийняти відповідно до власних векторів матриці суміжності (розташування вершин графа визначається величиною власних значень векторів за абсолютною величиною), отримаємо тривимірне зображення графа структури національної економіки, яке наведено на рисунку 2.

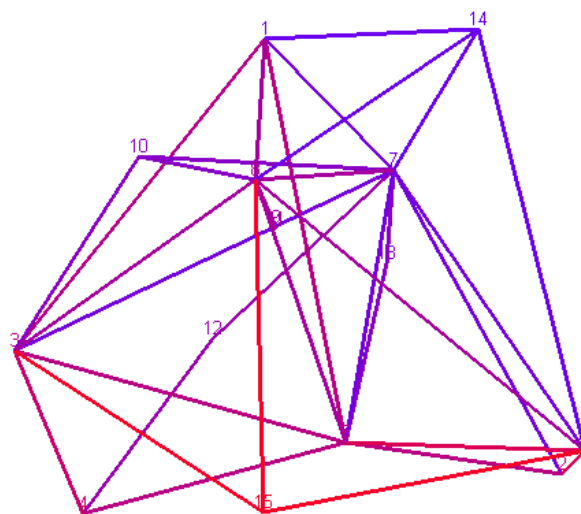


Рис. 2. Тривимірна структура національної економіки

Після проведення ідентифікації структури наступним етапом є її аналіз і формування висновків щодо структурної стійкості та факторів, що на неї впливають. Аналіз пов'язаності вершин графа, тобто виявлення зв'язку галузей між собою, є необхідною процедурою для визначення тих вершин-галузей, які мають найщільніший зв'язок, тобто відіграють графотворювальну роль. Як можна розрахувати за записом графа (1), вершини графа мають такі ступені (валентності):  $\text{deg}(v_1) = 5$ ,  $\text{deg}(v_2) = 3$ ,  $\text{deg}(v_3) = 7$ ,  $\text{deg}(v_4) = 3$ ,  $\text{deg}(v_5) = 8$ ,  $\text{deg}(v_6) = 6$ ,  $\text{deg}(v_7) = 10$ ,  $\text{deg}(v_8) = 10$ ,  $\text{deg}(v_9) = 1$ ,  $\text{deg}(v_{10}) = 3$ ,  $\text{deg}(v_{11}) = 1$ ,  $\text{deg}(v_{12}) = 2$ ,  $\text{deg}(v_{13}) = 2$ ,  $\text{deg}(v_{14}) = 4$ ,  $\text{deg}(v_{15}) = 3$ . Максимальний ступінь, що дорівнює 10, мають вершини  $v_7$  та  $v_8$ , які відповідають таким галузям постачання, як: енергоресурси та транспортна логістика; оптова та роздрібна торгівля, ресторанна та готельна справи. Ще три вершини мають значний ступінь і чинять суттєвий вплив на стан і стійкість системи, а саме  $v_3$ ,  $v_5$  та  $v_6$ , які відповідають таким галузям, як харчова промисловість; хімічна промисловість та металургійна промисловість. Також у структурі системи є дві висячі вершини, ступінь яких дорівнює одиниці –  $v_9$  і  $v_{11}$ , що відповідає ІТ-галузі і галузі досліджень, наукової та технічної діяльності.

Аналіз розташування вершин графа структури і матриці суміжності дав змогу визначити матрицю відстаней і розрахувати максимальний і мінімальний ексцентриситети. Найбільший ексцентриситет, тобто максимально можлива відстань між двома вершинами графа структури, дорівнює  $d(G) = 3$ , а мінімальний ексцентриситет дорівнює  $r(G) = 2$ . На основі матриці відстаней визначено центр графа структури національної економіки України як множина всіх вершин графа з мінімальним ексцентриситетом, тобто таким, що дорівнює радіусу графа. Центр графа складається з множини вершин  $\{v_1, v_3, v_5, v_6, v_7, v_8, v_{10}\}$ , що відповідає таким галузям економіки, як сільське, лісове та рибне господарство; харчова промисловість; хімічна промисловість; металургійна промисловість; постачання енергоресурсів та транспортна логістика; оптова та роздрібна торгівля, ресторанна та готельна справа; фінанси, страхування, операції з нерухомістю. Центр графа генерує глобальну стійкість системи, тому що у центрі графа формуються найкоротші й найщільніші зв'язки з іншими галузями. Тому найважливішим завданням у дослідженні центра графа є дослідження системних змін у вершинах-галузях центра графа, які можуть привести до ланцюгових кризових змін у структурі системи, що порушить її стійкість або приведе до руйнування системи.

Для визначення фундаментальних циклів у структурі економіки, остовів та мостів, витоків та стоків, а також структурної стійкості системи наступним кроком аналізу структури національної економіки є її представлення у вигляді орієнтованого графа. Відповідно до таблиці 1, яка є табличним відображенням матриці суміжності орієнтованого графа, використавши правило побудови таблиці «витрати – випуск» (стовбці визначають потоки ресурсів від галузей до відповідної галузі за номером стовбцю, а рядки відповідають потокам із відповідної галузі за номером рядка до інших галузей), отримаємо орієнтований граф, який зображено на рисунку 3.

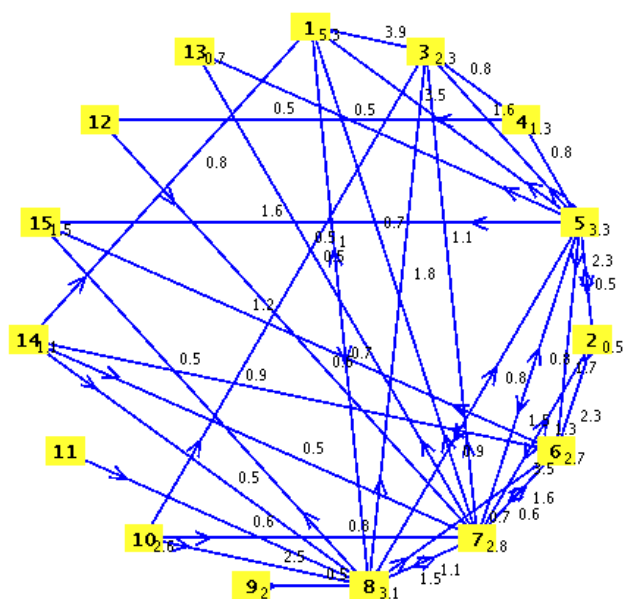


Рис. 3. Орієнтований граф структури національної економіки

Оргграф структури національної економіки не є замкнутим, і в ньому немає єдиного орієнтованого циклу; це можна пояснити тим, що національна соціально-економічна система є відкритою, і в ній є галузі кінцевого споживання, наприклад, харчова галузь та галузь оптової та роздрібною торгівлі, ресторанної та готельної справи, а певні галузі є експортноорієнтованими. У зв'язку з цим можна вважати, що граф є слабкозв'язаним і одностороннім. Дослідження структури на наявність витоків і стоків показало, що в структурі системи є три витоки  $\{v_9, v_{10}, v_{11}\}$  і три стоки  $\{v_3, v_{13}, v_{15}\}$ . Витоками в структурі національної економіки є такі галузі: ІТ-індустрія; галузь фінансів, страхування та операцій з нерухомістю; галузь наукових досліджень та технічної діяльності. Вочевидь, ці галузі є витокими, оскільки вони обслуговують центральні графотворюючі галузі. Стоками в структурі національної економіки є такі галузі, як харчова промисловість; освіта, охорона здоров'я, спорт та інше; будівництво. Наявність цих галузей, як зазначалося раніше, визначає слабкозв'язаність графа структури і ці галузі є галузями кінцевого споживання.

На останньому етапі дослідження проводиться оцінювання структурної стійкості соціально-економічної системи. Через те, що стійкість є динамічною характеристикою, а в роботі В. Леонтьєва [2] показано, що відносні коефіцієнти, які відображають зв'язки між галузями економіки, є постійними, порівняння змін структури в часі є неефективним завданням для аналізу структурної стійкості. Показник стійкості структури системи в кількісному плані відображає ступінь розподілу виробничо-економічних зв'язків у вершинах центра графа структури соціально-економічної системи. Значна різниця в розподілі виробничих зв'язків між центром графа структури і його периферією (іншими вершинами графа) відіграє визначальну роль у стійкості структури соціально-економічної системи. На нерівномірність розподілу виробничих зв'язків впливає розгалужена структура системи, яка має малу кількість виробничих зв'язків із центром структури,

і значні периферичні дерева, тобто чим більш досяжними будуть вершини графа до його центра, тим більш стійкою буде структура системи. Значна диференціація між центром і периферією структури формує економічну нестабільність і приводить до неефективного розподілу ресурсів. Тому запропоновано оцінювати стійкість структури соціально-економічної системи, наведеної у вигляді орієнтованого графа, як відношення суми ваг зв'язків центральних вершин до загальної суми всіх ваг у орієнтованому графі:

$$SS = \frac{\sum_{i=1}^b v_c + \sum_{j=1}^d e_c}{\sum_{i=1}^n v + \sum_{j=1}^m e}, \quad (2)$$

де  $v_c$  – ваги вершин центра графа структури;  $e_c$  – ваги дуг, які виходять із вершин центра графа структури;  $b$  – кількість вершин центра графа;  $d$  – кількість дуг, які виходять із вершин центра графа;  $v$  – ваги вершин графа структури;  $e$  – ваги дуг графа структури;  $n$  – кількість вершин графа структури;  $m$  – кількість дуг графа структури.

Стійкість структури системи може набувати таких значень:

$0 < SS < 0.3$  – низька стійкість структури системи, центр не забезпечує основних виробничих зв'язків, система може вийти зі стану стійкості за умови незначної дестабілізації всередині окремої галузі або за рахунок змін виробничих зв'язків;

$0.3 < SS < 0.6$  – зона достатньої стійкості структури системи – на центр графа структури припадає приблизно половина всіх виробничих зв'язків структури системи, що формує «продукуючу зірку», процеси в системі протікають досить швидко за рахунок значної сили і кількості зв'язків між галузями системи;

$0.5 < SS < 1$  – зона значної стійкості структури системи – на центр структури припадає значна кількість виробничих зв'язків, структура системи сильно зв'язана.

Також треба зазначити, що структурна стійкість формується і у вершинах графа, тобто в продукуючих галузях національної економіки, які мають техніко-технологічні, економічні, соціальні, правові та екологічні можливості для економічного зростання, повного задоволення потреб інших галузей у формуванні відповідних послуг і проміжного чи кінцевого продукту. Значна техніко-технологічна, економічна, соціальна, регіональна або інша диференціація галузей у національній економіці знижує її структурну стійкість.

У таблиці 2 подано розрахунки коефіцієнтів стійкості структури макроекономічної системи за 2014–2016 рр. Як видно з таблиці, коефіцієнт стійкості структури системи є досить високим і знаходиться в зоні значної стійкості, тому можна вважати, що структура національної економіки України є стійкою.

Таблиця 2  
Динаміка коефіцієнтів стійкості макроекономічної структури України за 2014–2016 рр.

Показник	2014 р.	2015 р.	2016 р.
Коефіцієнт стійкості структури системи ( $SS_s$ )	0.75	0.757	0.748

**Висновки.** Виходячи з результатів аналізу структури макроекономічної системи, можна стверджувати: найближчим часом будуть спостерігатися структурні зрушення в системі, що впливатиме як на стійкість структури економіки, так і на ефективність її функціонування загалом. Це пов'язано із внутрішньою структурною кризою в економіці України (зокрема, з неефективним виробництвом у більшості галузей, низькою продуктивністю праці в галузях з матеріальним кінцевим продуктом, зростанням державного боргу). Для подолання структурної кризи та підвищення стійкого опору економіки до змін у зовнішньому середовищі необхідно розробити державну стратегію, спрямовану на регулювання структури та подальшу її трансформацію.

#### Список використаних джерел:

1. Державна служба статистики України. Київ. URL: <http://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 10.12.2018).
2. Леонтьев В. Исследования структуры американской экономики. Пер. с англ. А.С. Игнатъева под ред. А.А. Конюса. М.: Госстатиздат, 1958. 640 с.
3. Сергеева Л.Н., Бакурова А.В., Воронцов В.В., Зульфугарова С.О. Моделирование структуры життєздатних соціально-економічних систем: монографія. Запоріжжя: КПУ, 2009. 200 с.
4. Сергеева Л.Н., Бакурова А.В. Концепция структурной сложности социально-экономической системы. Модели управления в рыночной экономике. Донецк, 2008. С. 425–433.
5. Угольницкий Г.А. Иерархическое управление устойчивым развитием. М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. 336 с.