

doi: <https://doi.org/10.33763/finukr2021.06.089>

УДК 338.3:338.4:330:5

**В. В. Кулик**

кандидат економічних наук, старший науковий співробітник відділу фінансово-економічного прогнозування НДФІ ДННУ "Академія фінансового управління", Київ, Україна, volodymyr\_kulyk@ukr.net  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2226-2795>

## КРИТИЧНА ІНФРАСТРУКТУРА В СИСТЕМІ ВИРОБНИЧИХ І ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНИХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ “ВИТРАТИ-ВИПУСК”

**Анотація.** Проаналізовано виробничу інфраструктуру національної економіки як особливо важливу частину критичної інфраструктури. Виробництво доданої вартості розглянуто за збільшеними групами видів економічної діяльності на інституційному й регіональному рівнях у контексті прийняття управлінських рішень. Визначено інструментарій міжгалузевого балансу як основний для оцінювання процесів виробництва та їх критичності. З цією метою підготовлено агреговані три-секторні таблиці “витрати-випуск” у базових цінах для низки країн. У рамках цих таблиць розкрито галузеву структуру економіки, окреслено прямі й повні витрати (матриця Леонтьєва), показники критичності виробничої інфраструктури. Запропоновано оцінювати її за допомогою таких параметрів: частка валової доданої вартості у випуску, витратність секторів і економіки загалом, коефіцієнти впливу й відклику, класифікація галузей на ключові, з прямим і оберненим впливом тощо. Виконано порівняльні дослідження показників критичності для ряду країн, зокрема визначено прямі витрати й похідні показники критичності виробничої системи (число Фробеніуса, вектор Фробеніуса та ін.). Розроблено підходи щодо поліпшення параметрів критичності виробничої інфраструктури економіки України.

**Ключові слова:** галузева структура економіки, таблиці “витрати-випуск”, види економічної діяльності, сектори економіки, виробництво, виробнича інфраструктура, критична інфраструктура, характеристики критичності.

**Форм. 2. Табл. 11. Літ. 32.**

**Volodymyr Kulyk**

Ph. D. (Economics), SESE “The Academy of Financial Management”, Kyiv, Ukraine, volodymyr\_kulyk@ukr.net  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2226-2795>

## CRITICAL INFRASTRUCTURE IN THE SYSTEM OF PRODUCTION AND FINANCIAL AND ECONOMIC RELATIONS “INPUT-OUTPUT”

**Abstract.** The production process in the system of economic cycle of the national economy, as well as the relevant tools for the study of production processes, is considered. The production infrastructure of the national economy is studied as an important part of critical infrastructure, reproduction processes. Production is considered in the context of the formation of added value by large groups of types of economic activity, at the institutional and regional levels, in the context of making management decisions at the macro- and microeconomic levels. The inter-industry balance sheet tools are defined as the basic one for assessing production processes and their criticality. To this end, aggregated three-sector input-output tables in producer’s prices for a number of countries have been prepared. Within their framework, the sectoral structure of the economy is considered, direct costs and full costs (Leontief matrix) are determined, indicators of criticality of the production infrastructure are determined. It is proposed to assess the criticality of production infrastructure using such parameters as the share of gross added

© Кулик В. В., 2021

value in output, the cost of sectors and the economy as a whole, the coefficients of impact and recall, the classification of industries into key, with direct and inverse impact, etc. Comparative studies of criticality indicators for a number of countries were carried out, in particular, direct costs and derivative indicators of criticality of the production system (Frobenius number, Frobenius vector, etc.) were determined. The proposed approaches to improving the parameters of criticality of the production infrastructure of the Ukrainian economy were worked out.

**Keywords:** sectoral structure of the economy, input-output table, types of economic activity, economy's sectors, production, production infrastructure, critical infrastructure, critical parameters.

**JEL classification:** C13, C67, D57, E23.

### В. В. Кулик

кандидат экономических наук, старший научный сотрудник отдела финансово-экономического прогнозирования НИФИ ГУНУ "Академия финансового управления", Киев, Украина

## КРИТИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА В СИСТЕМЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ "ЗАТРАТЫ-ВЫПУСК"

**Аннотация.** Проанализирована производственная инфраструктура национальной экономики как особенно важная часть критической инфраструктуры. Производство добавленной стоимости рассмотрено по укрупненным группам видов экономической деятельности на институциональном и региональном уровнях в контексте принятия управленческих решений. Определен инструментарий межотраслевого баланса как основной для оценки процессов производства и их критичности. С этой целью подготовлены агрегированные трехсекторные таблицы "затраты-выпуск" в базовых ценах для ряда стран. В рамках этих таблиц раскрыта отраслевая структура экономики, обозначены прямые и полные затраты (матрица Леонтьева), показатели критичности производственной инфраструктуры. Предложено оценивать ее с помощью таких параметров: доля валовой добавленной стоимости в выпуске, затратность секторов и экономики в целом, коэффициенты влияния и отклика, классификация отраслей на ключевые, с прямым и обратным влиянием и т. п. Выполнены сравнительные исследования показателей критичности для ряда стран, в частности определены прямые затраты и производные показатели критичности производственной системы (число Фробениуса, вектор Фробениуса и др.). Разработаны подходы по улучшению параметров критичности производственной инфраструктуры экономики Украины.

**Ключевые слова:** отраслевая структура экономики, таблицы "затраты-выпуск", виды экономической деятельности, секторы экономики, производство, производственная инфраструктура, критическая инфраструктура, характеристики критичности.

Протягом останніх двох десятиліть особливого значення набула проблема безпечного функціонування різних інфраструктурних складових економіки і суспільства, у т. ч. так званої критичної інфраструктури. Згідно з Директивою Ради ЄС 2008/114/ЄС "Ідентифікація та визначення європейських критичних інфраструктур й оцінка необхідності підвищення рівня їх захисту" критична інфраструктура – активи або системи, необхідні для підтримки життєво важливих функцій держави, здоров'я, захисту й безпеки, економічного і соціального благополуччя громадян. Європейська критична

інфраструктура – об'єкти, порушення функціонування або руйнування яких може значно вплинути на ситуацію не менше ніж у двох країнах ЄС (наприклад, об'єкти генерації електроенергії або нафтопроводи) [1]. В Україні розроблено та зареєстровано проект Закону “Про критичну інфраструктуру” [2].

Питанню функціонування критичної інфраструктури відводиться значне місце в сучасній науковій літературі.

Визначення терміна “критична інфраструктура” в європейських країнах, таких як Австрія, Великобританія, Німеччина, Нідерланди, Швейцарія, наведено в інформаційній довідці [3].

Огляд досліджень, проведених у США, та інших міжнародних праць [4] має на меті головним чином розроблення єдиного джерела посилань на інструменти моделювання взаємозалежності критичної інфраструктури (*дали* – ІМВКІ), які можуть бути застосовані користувачами для об'єктивної оцінки їх можливостей.

У науковому звіті [5] наведено методи моделювання взаємозалежних об'єктів критичної інфраструктури, таких як агентне моделювання, системна динаміка, гібридне моделювання систем, метод “витрати-випуск”, високорівнева архітектура, мережі Петрі, метод критичного шляху та ін., для котрих вказано єдині прирівнювані критерії оцінки. В іншій праці запропоновано основу для вибору відповідних одиничних або комбінованих методів моделювання розвитку взаємозалежної критичної інфраструктури з урахуванням наукової проблеми чи завдання [6].

Методологія оцінювання стійкості елементів критичної інфраструктури ґрунтується на визначенні ступеня їх стійкості на основі статистичних даних, що включає комплексну оцінку останньої, а також здатності цих елементів відновлювати функціональність після руйнівної події та адаптуватися до наступних подібних потрясінь [7]. Група дослідників розглядає критичну інфраструктуру як сукупність галузей, чия неузгоджена діяльність може призводити до втрати продуктивності та спричиняти далекосяжні проблеми, пов'язані з безпекою й надійністю [8].

Пропонована Європейською комісією методологія оцінювання ризиків для захисту критичної інфраструктури [9] включає, зокрема, ієрархічне технологічне моделювання для цих потреб, економічне моделювання порушення такої інфраструктури. В умовах інформаційного суспільства особливо важливим стає незастосування кібернетичної зброї проти 16 секторів критичної інфраструктури, таких як енергетичні системи, атомна генерація, нафто- й газопроводи, системи водопостачання та їх санітарного захисту, контролю й управління ядерною зброєю та її носіями тощо [10]. Питанням захисту критичної інфраструктури в Україні присвячено праці за загальною редакцією О. М. Суходолі [11; 12], де висвітлено актуальні питання створення її нормативної, організаційної й методологічної бази, впровадження концепції її захисту в нашій державі та ін. За кордоном виходить міжнародний журнал з питань захисту критичної інфраструктури [13].

Маловивченими є питання взаємозв'язку процесів виробництва і критичної інфраструктури, формування системи параметрів, що якісно характеризують ці процеси та їх критичність. У цьому контексті становить інтерес розгляд моделі Леонт'єва як основи вивчення критичної інфраструктури, її параметризація; дослідження критичності виробничої інфраструктури для низки країн на основі агрегованої моделі “витрати-випуск”.

Метою статті є дослідження процесів виробництва як важливої частини критичної інфраструктури (економічної, відтворювальної, інституційної, регіональної тощо); розгляд методів і моделей, котрі можуть бути використані при вивченні функціонування критичної виробничої інфраструктури, зокрема методу “витрати-випуск” як універсального для аналізу економічного кругообігу в рамках формування кінцевого продукту; параметризація трисекторної моделі Леонт'єва для ряду країн та створення системи показників критичності виробничої інфраструктури, порівняльні дослідження ефективності останньої.

Сучасні стандарти статистики дають змогу виокремлено досліджувати власне процес виробництва за допомогою рахунку виробництва [14; 15], котрий відображає створення благ у національному, інституціональному, галузевому, регіональному вимірах. Галузеві аспекти діяльності досить повно представлені в міжнародній галузевій статистиці [16], що уможливає вивчення особливостей виробництва й розподілу доходів у галузях, динаміки структурних змін, проведення міжнародних порівнянь та ін.

Розроблення й підготовка міжгалузевої статистики є доволі складною, трудомісткою роботою, яка потребує міжнародної координації та підтримки. З цією метою видаються методологічні матеріали із формування й використання таблиць “витрати-випуск” (далі – ТВВ), котрі стають у пригоді фаховим статистикам, аналітикам, розробникам статистичних застосунків та ін. Ці матеріали містять агреговані, параметризовані схеми “витрати-випуск”, що водночас є прикладом застосування методів і статистичних даних конкретної країни [17]. У Німеччині тривалий час практикується підготовка й публікація агрегованих трисекторних ТВВ [18], які є вступом до вивчення національної міжгалузевої статистики та зручні у використанні для навчальних цілей.

Саме цей досвід надихнув на застосування агрегованих трисекторних ТВВ із метою вивчення національної економічної структури крізь призму критичної інфраструктури, критичних виробничих параметрів.

Дослідження й моделювання критичної інфраструктури та її об'єктів проводяться за допомогою таких підходів [5]:

- Агентне моделювання – клас моделей взаємодії агентів (колективних сутностей) для оцінювання їхнього впливу на всю систему.
- Системна динаміка – дослідження складної системи в часі і просторі, її складових елементів та їх взаємодії. Питанням використання цього методу при вивченні проблем промислового розвитку присвячена праця Д. Форрестера [19].

- Мережі Петрі – математичний апарат для моделювання динамічних дискретних систем із застосуванням графів, використовуваних із метою моделювання асинхронних систем, котрі функціонують як сукупність паралельних, взаємодіючих процесів [20].

- Метод критичного шляху – алгоритм планування довільного проекту, включаючи всі його стадії.

- Метод аналізу ієрархій – структурований метод організації та аналізу складних рішень, що передбачає кількісне оцінювання ваги критеріїв прийняття рішень.

- Метод “витрати-випуск” – метод дослідження міжгалузевих зв’язків у економічній системі та їх впливу на виробництво кінцевого продукту.

Наведені методи дослідження й моделювання критичної інфраструктури великою мірою перетинаються та доповнюють один одного. Наприклад, агентне моделювання та метод “витрати-випуск” описують взаємодію глобальних агентів (“споживачів” і “виробників”) у зв’язку з виробництвом, розподілом та споживанням кінцевого продукту; методи “витрати-випуск” і системної динаміки можуть використовуватися для аналізу процесів відтворення ВВП та його структурних елементів; взаємодія між колективними агентами може бути подана за допомогою матриць фінансових потоків (соціальних рахунків) та ін.

Зазначені методи мають і власні критерії оцінки критичності. Спільним методом може бути оцінювання на основі відхилень від звичного стану [9], відхилень від встановлених норм тощо. Критичність виробничої інфраструктури характеризують показники, пов’язані з витратністю (дохідністю) виробництва, та інші похідні показники. Життєдіяльність суспільства, котре теж можна вважати критичною інфраструктурою, оцінюють на основі гранично критичних показників, тобто таких їх значень, вихід за межі яких свідчить про виникнення загрози функціонуванню економіки та життєдіяльності суспільства внаслідок порушення нормального перебігу процесів, що характеризують ці показники.

При оцінюванні критичної інфраструктури рекомендують зосередитися на дев’яти критеріях [5]: 1) фокусування на моделюванні; 2) можливість методичного проектування стратегії; 3) врахування типу взаємозалежностей; 4) врахування типу подій для моделювання; 5) оцінка наслідків події; 6) забезпечення потреби в даних; 7) окреслення зони моніторингу; 8) можливість моделювання парадигм; 9) зрілість. Цим критеріям відповідають такі балансові системи, як національні рахунки, ТБВ, розроблені саме у зв’язку з необхідністю системного дослідження відтворювальних процесів у економіці.

Застосування національних рахунків і ТБВ дає можливість сконцентрувати увагу на: процесах відтворення (попит-пропозиція, виробництво, утворення доходу та ін.); інституційних агентах (інституційних секторах) і процесах їх відтворення; економічних агентах (ВЕД) та процесах їх відтворення; регіональних агентах (виробництво й формування валового регіонального продукту). Крім того, розроблена та широко використовується

єдина методологія підготовки й оцінювання економічної інформації, наявні та відкриті бази даних зі структурованої статистики по країнах, існує можливість проведення міжнародних порівнянь, моделювання на основі структурованої статистики, сформована велика методологічна база наукових джерел тощо.

Варто зазначити, що національні рахунки, зокрема метод “витрати-випуск”, дають можливість “по-новому” підійти до дослідження процесів відтворення національної економіки як критичної інфраструктури, а саме:

- Ієрархічність ідентифікації проблем відтворення, на основі найбільш агрегованої інформації і структури доходів. Наприклад, зведені національні рахунки та відповідні критичні співвідношення.

- Дослідження й налаштування процесів попиту-пропозиції в економіці. Метод і модель “витрати-випуск” описують відтворення ВВП (рахунок товарів і послуг, виробництва, утворення доходу) через діяльність економічних агентів (ВЕД, агрегованих ВЕД).

- Пошук критичних проблем інфраструктури. Встановлення критичних значень валових і чистих доходів, котрі мають вирішальний вплив на процеси відтворення та їх динаміку.

- Системна динаміка окремих процесів, агентів, систем формування доходів тощо. Наприклад, індустріальна динаміка наведена Д. Форрестером [19].

### Модель Леонтьєва як основа для вивчення виробничої інфраструктури

Конкурентоспроможність національної економіки безпосередньо залежить від якісного узгодження процесів економічного циклу, передусім на етапах виробництва й супутніх. Процеси виробництва у національній економіці описує відома модель Леонтьєва (модель “витрати-випуск”):

$$X = AX + Y, \quad X \geq 0, \quad (1)$$

де  $X$  – випуск;  $AX$  – проміжне споживання;  $Y$  – кінцевий продукт;  $A$  – матриця прямих витрат.

Водночас модель характеризує виробничу інфраструктуру національної економіки, адже інші етапи економічного циклу пов'язані з виробничою діяльністю (попитом, пропозицією, утворенням доходу) й, відповідно, циклічність формування кінцевого продукту, галузеві особливості виробничих витрат та утворюваних доходів тощо. Вона є частиною системи національних рахунків [21], зокрема консолідованих рахунків, рахунків виробництва, інституціональних секторів, регіональних рахунків, а отже, за різними ознаками і ступенем деталізації описує виробничий процес. Ця особливість уможливорює параметризацію моделі та дослідження особливостей відтворення конкретної економіки. Крім того, ця модель, характеризуючи економічний кругообіг, ідентифікує потоки, що формуються “виробниками” і “споживачами” кінцевого продукту (ВВП). Виробнича інфраструктура економіки висвітлена, зокрема, у працях зарубіжних учених [22].

## Модель Леонт'єва в контексті економічного циклу відтворення

Модель Леонт'єва є частиною системи національних рахунків, а отже, й економічного циклу відтворення – більш деталізовано розкриває елементи попиту, пропозиції, виробництва, утворення доходу, галузеві особливості формування ВВП та ін.

Розглянемо трисекторну агреговану таблицю “витрати-випуск” Японії за 2015 р. у контексті циклу відтворення (табл. 1). Отже, ТВВ деталізує в розрізі секторів (галузей, ВЕД) окремі етапи економічного циклу – сукупні попит і пропозицію, виробництво, утворення доходу у формі результату виробництва й отриманих факторних доходів. Як бачимо, сукупна пропозиція покривається виробництвом, котре, у свою чергу, залежить від галузевих факторних доходів.

ТВВ характеризує економічний кругообіг, де акцент робиться на галузевих чинниках попиту і пропозиції, виробництві (ВВП за виробничим методом) та утворенні доходу (ВВП за категоріями доходу). Таким чином, ТВВ можна назвати малою системою національних рахунків, від сталості й передбачуваності якої залежить економічна стабільність у країні.

У табл. 1 і 2 показано альтернативне подання ТВВ Японії; структурний аналіз за цими даними наведено також у працях [23; 24]. Здійснивши агрегування даних за секторами (див. табл. 1), отримуємо матрицю соціальних рахунків (див. табл. 2), де ВВП є результатом діяльності в рамках економічного циклу на етапах виробництва, утворення доходу й кінцевого споживання. Цю матрицю теж варто розглядати як таблицю “витрати-випуск”, що містить

Таблиця 1. Трисекторна таблиця “витрати-випуск” Японії за 2015 р. у контексті процесів відтворення національної економіки, млрд єн

		Сукупна пропозиція (товари й послуги)			Виробництво			Утворення доходу		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сукупний попит (товари й послуги)	1	Проміжне споживання			1 566,7	8 211,8	1 531,9	ВВП як сукупність кінцевих товарів і послуг		
	2				3 127,9	184 890,5	60 195,5			
	3				2 050,9	56 970,3	151 034,2			
Виробництво	1	12 887,6			Випуск					
	2	393 673,0								
	3	611 257,8								
Утворення доходу	1	ВВП як результат виробництва			6 142,1					
	2				143 600,4					
	3				398 496,2					
Первинний розподіл доходу (ВВП як дохід факторів виробництва)	Б				ВВП як доходи факторів виробництва			81,6	5 244,9	9 729,0
	В							1 493,9	69 445,1	194 860,2
	Г							2 810,8	18 004,5	83 090,1
	Д							1 997,2	37 766,8	91 307,2
	Є							513,5	13 862,4	21 292,1
Е	-754,9	-723,2	-1 782,3							
Всього		12 887,6	393 673,0	611 257,8	12 887,6	393 673,0	611 257,8	6 142,1	143 600,4	398 496,2

		Кінцеве споживання (ВВП як споживані кінцеві товари й послуги)					Всього
		II	III	IV	V + VI	VII + VIII	
Сукупний попит (товари й послуги)	1	68,0	3 821,8		382,7	-2 695,3	12 887,6
	2	1 643,4	66 234,0	-205,6	96 597,3	-18 810,1	393 673,0
	3	13 344,1	235 560,6	105 734,9	40 456,2	6 106,7	611 257,8
Виробництво	1						12 887,6
	2						393 673,0
	3						611 257,8
Утворення доходу	1						6 142,1
	2						143 600,4
	3						398 496,2
Первинний розподіл доходу (ВВП як дохід факторів виробництва)	Б					...	...
	В					...	...
	Г					...	...
	Д					...	...
	Є					...	...
Всього		...	...	...	...	...	...

**Примітка.** Види економічної діяльності: 1 – первинний сектор (аграрний сектор); 2 – вторинний сектор (промисловість); 3 – третинний сектор (сфера послуг). Елементи доданої вартості: Б – споживчі витрати поза домогосподарствами (рядок); В – оплата праці; Г – чистий прибуток, змішаний дохід; Д – споживання основного капіталу; Є – непрямі податки (за винятком митних зборів і податків на імпортовані товари); Е – (мінус) поточні субсидії. *Елементи кінцевого споживання:* II – споживчі витрати поза домогосподарствами (стовпчик); III – споживчі витрати (приватні); IV – споживчі витрати (колективні); V – валове нагромадження основного капіталу; VI – зміни запасів; VII – експорт; VIII – (мінус) імпорт.

Складено за: 2015 Input-Output Tables for Japan. Portal Site of Official Statistics of Japan. URL: [https://www.soumu.go.jp/english/dgpp\\_ss/data/io/io15\\_00001.htm](https://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/data/io/io15_00001.htm).

Таблиця 2. Матриця соціальних рахунків Японії за 2015 р., млрд єн

	Сукупна пропозиція	Виробництво	Утворення доходу	ВВП як кінцеві споживані товари й послуги	Всього
Сукупний попит		469 579,7		548 238,7	1 017 818,4
Виробництво	1 017 818,4				1 017 818,4
Утворення доходу		548 238,7			548 238,7
ВВП як дохід виробничих факторів			548 238,7		548 238,7
	1 017 818,4	1 017 818,4	548 238,7	548 238,7	

Складено автором.

одну галузь. Тому важливим фактором стабільного розвитку (процесів відтворення) є структурна збалансованість ВВП за його елементами (див. табл. 1).

У такій ТВВ виділяють, окрім валових, чисті доходи. Це необхідно для розуміння того, яка частка ВВП спрямовується на відновлення (модерніза-



цію) на етапі виробництва та ін. Наприклад, динаміка ВВП Японії за 1990–2015 рр. вказує на стійкі тенденції зменшення валового прибутку і зростання відрахувань на заміщення капіталу [23].

Загалом валові й чисті доходи дають змогу виявити критичні ланки в процесах економічного кругообігу. Динамічні ряди статистичних показників, зокрема структурних, надають інформацію про якість процесів економічного обороту, зокрема відтворення на кожному етапі.

### Параметри критичності виробничої інфраструктури

Ефективність будь-якої виробничої інфраструктури визначається виробничими витратами  $a_{ij}$ , що характеризують витрати продукту  $i$  на виробництво продукту  $j$ . Ці коефіцієнти розкривають галузеві витрати  $\sum_i a_{ij}$  та загальні виробничі витрати  $AX/X$ ; є порівняно сталими, адже характеризують технологію виробництва, притаманну певній економічній системі. Оскільки технологія виробництва змінюється досить повільно, коефіцієнти витрат використовують як нормативні показники для аналізу й моделювання міжгалузевих зв'язків.

Висновок про функціонування критичної інфраструктури роблять за допомогою методології оцінювання ризиків для захисту критичної інфраструктури [9], котра включає й модель “витрати-випуск”, її похідні параметри.

Критерії критичності виробничої структури впливають із моделі Леонтьєва та охоплюють: 1) галузеві витрати виробничої діяльності (коефіцієнти Брауера – Солоу,  $\sum_i a_{ij}, i = \overline{1, n}$ ); 2) загальні витрати економіки (число Фробеніуса,  $AX/X$ ); 3) галузеву дохідність, включаючи рівень національної економіки (коефіцієнти доданої вартості,  $(1 - \sum_i a_{ij}) / 1, (X - AX) / X$ ); 4) структуру галузевого виробництва, що визначається власне галузевою структурою попиту, кінцевого продукту та ін.

### Високоагреговані таблиці “витрати-випуск” та їх значення для оцінки

Різні ступені агрегації моделі, зокрема агрегування до однієї і трьох галузей, дають загальне уявлення про особливості виробничої інфраструктури певної національної економіки. Як зазначалося, у Німеччині служба статистики періодично публікує агреговану трисекторну ТВВ у основних цінах, використовувану для первинних оцінок [18].

На підставі національних статистичних даних підготовлено агреговані тригалузеві ТВВ у основних цінах для Великобританії, Німеччини, Японії та Польщі (табл. 3). Виокремлено первинний (I, агросектор), вторинний (II, промисловість) і третинний (III, послуги) сектори згідно з класифікацією ЄС [15, с. 527]. Випуск одночасно характеризує сукупні попит і пропозицію та обсяги виробництва в розрізі секторів. Аналогічно ВВП, представлений у моделі як кінцевий продукт, відображає обсяг спожитих кінцевих товарів (ВВП<sup>1</sup>), отримані в результаті виробництва доходи (ВВП<sup>2</sup>) та розподіл факторних доходів (ВВП<sup>3</sup>).

Таблиця 3. ТВВ у основних цінах

	I	II	III	Σ	ВВП <sup>1</sup>	Випуск
<b>Великобританія, 2018 р., млн ф. ст.</b>						
I	5 630	18 912	686	25 228	7 542	32 770
II	10 346	540 768	283 378	834 492	226 266	1 060 758
III	4 609	112 888	761 002	878 499	1 676 439	2 554 938
Σ	20 585	672 568	104 5 066	1 738 219	1 910 247	3 648 466
ВВП <sup>2,3</sup>	12 185	388 190	1 509 872	1 910 247		
Випуск	32 770	1 060 758	2 554 938	3 648 466		
<b>Німеччина, 2017 р., млрд євро</b>						
I	9,5	47,1	3,5	60,1	37,3	97,5
II	11,3	1 149,8	254,3	1 415,4	2 063,4	3 478,8
III	14,6	481,5	1 179,9	1 676	2 166,6	3 842,6
Σ	35,4	1 678,4	1 437,7	3 151,5	4 267,3	7 418,9
ВВП <sup>2,3</sup>	62,1	1 800,4	2 404,9	4 267,4		
Випуск	97,5	3 478,8	3 842,6	7 418,9		
<b>Японія, 2015 р., 100 млн єн</b>						
I	15 667	82 118	15 319	113 104	15 772	128 876
II	31 279	1 848 905	601 955	2 482 139	1 454 591	3 936 730
III	20 509	569 703	1 510 342	2 100 554	4 012 024	6 112 578
Σ	67 455	2 500 726	2 127 616	4 695 797	5 482 387	10 178 184
ВВП <sup>2,3</sup>	61 421	1 436 004	3 984 962	5 482 387		
Випуск	128 876	3 936 730	6 112 578	10 178 184		
<b>Польща, 2015 р., млн злотих</b>						
I	19 102,8	57 766,7	4 417,3	81 286,8	33 649,7	114 936,5
II	34 819,5	814 639,7	257 958,1	1 107 417,4	581 041,3	1 688 458,6
III	14 118,7	266 088,7	460 830,1	741 037,5	1 040 911,4	1 781 948,9
Σ	68 041,0	1 138 495,2	723 205,6	1 929 741,7	1 655 602,3	3 585 344,0
ВВП <sup>2,3</sup>	46 895,6	549 963,5	1 058 743,3	1 655 602,3		
Випуск	114 936,5	1 688 458,6	1 781 948,9	3 585 344,0		

Складено за: 2018 Summary Supply and Use Tables for the United Kingdom / Office for National Statistics. URL: <https://www.ons.gov.uk>; Input-Output-Tabelle der inländischen Produktion und Importe zu Herstellungspreisen 2017 (Revision 2019) in Milliarden Euro / Statistisches Bundesamt. 2021. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/innlandsprodukt-input-ouptrechnung.html>; 2015 Input-Output Tables for Japan. Portal Site of Official Statistics of Japan. URL: [https://www.soumu.go.jp/english/dgpp\\_ss/data/io/io15\\_00001.htm](https://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/data/io/io15_00001.htm); Bilans przepływów międzygaleziowych w bieżących cenach bazowych w 2015 roku / Główny Urząd Statystyczny. 2019. URL: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rachunki-narodowe/roczne-rachunki-narodowe/bilans-przeplywow-miedzygaleziowych-w-biezacych-cenach-bazowych-w-2015-roku,7,3.html>.

Звідси випливає надзвичайна важливість для підвищення ефективності економіки створення механізму системного скорочення саме проміжних виробничих витрат, котрі (як і ВВП та випуск) фігурують у оцінці сукупних попиту й пропозиції, національного виробництва. Процес виробництва є виробничим споживанням проміжних товарів і послуг, факторів виробництва – праці й капіталу [25, с. 104], котрі потребують заміщення. Втім, сьогодні

ні цьому факту не приділяється належної уваги, що призводить до відпливу трудових ресурсів та капіталів за кордон.

При застосуванні схеми “витрати-випуск” необхідно враховувати не лише ринкові ціни на вироблені кінцеві товари і послуги та споживані в процесі виробництва, а й ринкові ціни на використовувані в ході виробництва працю та капітал. Це є найскладнішою й недооціненою проблемою для перехідних економік, що тривалий час унеможлиблює використання повною мірою потенційних можливостей економічної системи.

Модель Леонтьєва розглянемо в рамках галузевого рахунку виробництва, тобто ТВВ, де ресурсом є випуск ( $X$ ), а використання містить проміжне споживання ( $AX$ ) та створену вартість ( $Y$ ) (див. табл. 2). Прямі витрати (матриця  $A$ ) й частка доданої вартості у випуску характеризують ефективність виробничої структури та її потенціал.

### Структура пропозиції, матриця витрат, додана вартість, випуск

Пропозиція формується внаслідок виробництва та представлена галузевим випуском і випуском загалом (див. табл. 3); у стовпчиках показано галузеві матеріальні витрати й ті, що пов'язані з використанням факторів виробництва.

Визначимо коефіцієнти виробничих витрат  $a_{ij}$ , виробничих витрат галузей  $\sum_i a_{ij}$  (коефіцієнти Брауера – Солоу), коефіцієнти доданої вартості  $(1 - \sum_i a_{ij}) / 1, (X - AX) / X$  для вказаних країн (табл. 4).

Найбільш дохідною є економіка Німеччини з коефіцієнтом доданої вартості 0,57521, найменш дохідною – економіка Польщі (0,46177). Ці коефіцієнти обернено пропорційні витратності виробництва, в т. ч. за галузями. Незважаючи на якісну відмінність між економіками Великобританії й

Таблиця 4. Виробництво, структура витрат

Великобританія, 2018 р.					Німеччина, 2017 р.				
	I	II	III	Σ		I	II	III	Σ
I	0,17180	0,01783	0,00027	0,00691	I	0,09744	0,01354	0,00091	0,00810
II	0,31572	0,50979	0,11091	0,22872	II	0,11590	0,33052	0,06618	0,19078
III	0,14065	0,10642	0,29786	0,24079	III	0,14974	0,13841	0,30706	0,22591
Σ	0,62817	0,63404	0,40904	0,47642	Σ	0,36308	0,48247	0,37415	0,42479
ВВП <sup>2</sup>	0,37183	0,36596	0,59096	0,52358	ВВП <sup>2</sup>	0,63692	0,51753	0,62585	0,57521
Випуск	1	1	1	1	Випуск	1	1	1	1

  

Японія, 2015 р.					Польща, 2015 р.				
	I	II	III	Σ		I	II	III	Σ
I	0,12157	0,02086	0,00251	0,01111	I	0,16620	0,03421	0,00248	0,02267
II	0,24271	0,46966	0,09848	0,24387	II	0,30295	0,48248	0,14476	0,30887
III	0,15914	0,14471	0,24709	0,20638	III	0,12284	0,15759	0,25861	0,20669
Σ	0,52341	0,63523	0,34807	0,46136	Σ	0,59199	0,67428	0,40585	0,53823
ВВП <sup>2</sup>	0,47659	0,36477	0,65193	0,53864	ВВП <sup>2</sup>	0,40801	0,32572	0,59415	0,46177
Випуск	1	1	1	1	Випуск	1	1	1	1

Складено автором.

Польщі, вони мають схожу структуру галузевих витрат: їх коефіцієнти доданої вартості та галузеві коефіцієнти виробничих витрат подібні.

Економіки Великобританії, Німеччини і Японії вирізняються розвиненішою виробничою інфраструктурою, що якісно характеризує частка ВВП у структурі випуску  $((X - AX) / X > 0,5)$ .

**Обернена матриця Леонтьєва, моделювання**

Модель Леонтьєва (див. рівняння (1)) може бути записана у вигляді:

$$X = Y(I - A)^{-1}, \tag{2}$$

де  $(I - A)^{-1}$  – обернена матриця Леонтьєва.

Такий запис широко використовується для моделювання міжгалузевих зв'язків, ґрунтуючись на матриці технологічних коефіцієнтів  $A$ , яка характеризує виробничу технологію економічної системи. Ця модель застосовується для прогнозування обсягів діяльності економіки та її секторів – випуску, в т. ч. у розрізі секторів. Змінюючи кінцеві витрати  $Y$  (див. ВВП<sup>1</sup> у табл. 3), визначаємо випуск  $X$  у економічній системі, зокрема прирости цих макроекономічних агрегатів по галузі (галузях), зміни в економічній структурі та ін.

Обернені матриці Леонтьєва для вказаних країн наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Матриця Леонтьєва виду  $B = (I - A)^{-1}$

Великобританія, 2018 р.				Німеччина, 2017 р.			
	I	II	III		I	II	III
I	1,22641	0,04629	0,00778	I	1,11155	0,02324	0,00368
II	0,87547	2,14545	0,33923	II	0,22052	1,52839	0,14626
III	0,37836	0,33445	1,47718	III	0,28425	0,31031	1,47313

  

Японія, 2015 р.				Польща, 2015 р.			
	I	II	III		I	II	III
I	1,15353	0,04814	0,01013	I	1,23449	0,08811	0,02133
II	0,59438	1,98016	0,26098	II	0,82915	2,11360	0,41547
III	0,35806	0,39077	1,38048	III	0,38079	0,46387	1,44067

Складено автором.

**Структура попиту, кінцевий продукт, випуск**

Попит сформований внутрішнім і зовнішнім попитом, представлений попитом на товари й послуги виробничого призначення та кінцеві товари й послуги. У рядках наведено галузеві виробничі та кінцеві витрати (табл. б).

Коефіцієнти витрат і випуску є важливим елементом аналізу процесів економічного кругообігу [18, с. 485], оскільки дають загальну картину попиту-пропозиції та уможливають віднайдення додаткових ресурсів у частині виробництва і змін структури кінцевого попиту.

Таблиця 6. Сукупний попит, структура випуску

	I	II	III	Σ	ВВП <sup>1</sup>	Випуск
<i>Великобританія, 2018 р.</i>						
I	0,17180	0,57711	0,02093	0,76985	0,23015	1
II	0,00975	0,50979	0,26715	0,78669	0,21331	1
III	0,00180	0,04418	0,29786	0,34384	0,65616	1
Σ	0,00564	0,18434	0,28644	0,47642	0,52358	1
<i>Німеччина, 2017 р.</i>						
I	0,09744	0,48308	0,03590	0,61641	0,38256	1
II	0,00325	0,33052	0,07310	0,40686	0,59314	1
III	0,00380	0,12531	0,30706	0,43616	0,56384	1
Σ	0,00477	0,22623	0,19379	0,42479	0,57519	1
<i>Японія, 2015 р.</i>						
I	0,12157	0,63719	0,11887	0,87762	0,12238	1
II	0,00795	0,46966	0,15291	0,63051	0,36949	1
III	0,00336	0,09320	0,24709	0,34364	0,65636	1
Σ	0,00663	0,24569	0,20904	0,46136	0,53864	1
<i>Польща, 2015 р.</i>						
I	0,16620	0,50260	0,03843	0,70723	0,29277	1
II	0,02062	0,48248	0,15278	0,65587	0,34413	1
III	0,00792	0,14932	0,25861	0,41586	0,58414	1
Σ	0,01898	0,31754	0,20171	0,53823	0,46177	1

Складено автором.

### Похідні показники виробничої економічної ефективності

Похідні обчислення на основі ТВВ дають змогу визначити критичні параметри виробничої структури, а саме:

- 1) складові елементи випуску в розрізі секторів (табл. 7);
- 2) ВВП за категоріями кінцевого попиту в розрізі секторів (табл. 8);

Таблиця 7. Структура випуску (сукупні пропозиція та попит), %

Країна	Первинний	Вторинний	Третинний	Всього
Великобританія	0,90	29,07	70,03	100
Німеччина	1,31	46,89	51,79	100
Японія	1,27	38,68	60,06	100
Польща	3,21	47,09	49,70	100

Складено автором.

Таблиця 8. Структура ВВП<sup>1</sup> (за категоріями кінцевого споживання), %

Країна	Первинний	Вторинний	Третинний	Всього
Великобританія	0,39	11,84	87,76	100
Німеччина	0,87	48,35	50,77	100
Японія	0,29	26,53	73,18	100
Польща	2,03	35,10	62,87	100

Складено автором.

Таблиця 9. Структура ВВП<sup>2</sup> (валова додана вартість), %

Країна	Первинний	Вторинний	Третинний	Всього
Великобританія	0,64	20,32	79,04	100
Німеччина	1,46	42,19	56,36	100
Японія	1,12	26,19	72,69	100
Польща	2,83	33,22	63,95	100

Складено автором.

Таблиця 10. Вектор і число Фробеніуса

Країна	Вектор Фробеніуса			Число Фробеніуса
	первинний	вторинний	третинний	
Великобританія	0,0256	0,5699	0,2361	0,5699
Німеччина	0,0149	0,3285	0,4205	0,4205
Японія	0,0287	0,5350	0,2847	0,5350
Польща	0,0496	0,5823	0,3019	0,5832

Складено автором.

3) ВВП як результат процесу виробництва (табл. 9);

4) вектор і число Фробеніуса (табл. 10), які є важливими показниками для формування магістральних моделей, темпів зростання та ін.

Найвищою ефективністю виробництва є в Німеччині (число Фробеніуса – 0,4205)<sup>1</sup>, найнижчою – в Польщі (0,5832). Коефіцієнт Брауера – Солоу для економіки та число Фробеніуса загалом корелюють між собою, характеризуючи витратність економіки. Обчислення вектора й числа Фробеніуса для досліджуваних країн виконано на основі степеневого методу [26, с. 17]. Порівняння структури економіки двох країн наведено О. І. Ястремським [27].

### Класифікація агрегованих галузей за типом впливу на економіку

Прагматичним підходом є вибір сектору як одиниці аналізу, де він приблизно відповідає класифікаціям існуючих секторів (галузей) [28, с. 528]. Цей підхід доцільний із погляду управління ризиками, адже більшість елементів інфраструктури є приватною власністю та перебувають під управлінням приватних суб'єктів.

Вирізняють два сприйняття критичності [28, с. 530, 531]: як системної концепції та як символічного поняття. Перше передбачає, що інфраструктура або інфраструктурна складова критично важлива через її структурне положення в усій системі інфраструктури, особливо коли вона є ключовою ланкою між іншими частинами системи чи секторами, й, таким чином, посилює взаємозалежність; друге – що інфраструктура або інфраструктурна складова за своєю сутністю критично важлива з огляду на її роль чи функцію в суспільстві, при цьому питання взаємозалежності є другорядним. – символічного значення певних частин інфраструктури достатньо, щоб мати їх за стратегічні цілі.

<sup>1</sup> Число Фробеніуса – це максимальне число  $\lambda$ , за якого  $|\lambda E - A| = 0$  (див.: Nikaido H. Convex Structures and Economic Theory. New York ; London : Academic Press, 1968. P. 405).

Країни світу по-різному ставляться до визначення критичних секторів: деякі з них мають точний офіційний перелік секторів і підгалузей (Австралія, Канада, Нідерланди, Великобританія, США), в інших такий офіційний перелік відсутній (Австрія, Бразилія, Польща, Росія) [28, с. 528–533]. Найбільш згадуваними критичними секторами в усіх країнах є ті, припинення діяльності котрих завдало б найруйнівнішого впливу (банківська справа та фінанси; центральний уряд і служби; зв'язок та інформаційно-комунікаційні технології; аварійно-рятувальні служби; електроенергетика; медичні послуги; продукти харчування; транспорт; водопостачання тощо).

Розглянемо оцінку критичності секторів галузей як системну концепцію. Цей підхід використовують для класифікації галузей реальних економічних систем (Японія, 2015 р.) [29, с. 85–88]. Система поділу галузей економіки України, зокрема крізь призму невизначеності, наведена в працях вітчизняних науковців [30; 31].

Класифікація галузей на (ключові, прямо орієнтовані, зворотно орієнтовані, слабо орієнтовані) базується на оцінках впливу вектора кінцевого використання на вектор випуску, а саме  $\frac{\partial x_i}{\partial y_j} = L_{ij}$ , де  $L_{ij}$  – компонента матриці повних витрат  $L = (E - A)^{-1}$ .

Галузь  $k$  належить до ключових [9], якщо  $FL_k > 1, BL_k > 1$ , де

$$FL_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_j L_{kj}}{\frac{1}{n^2} \sum_{ij} L_{ij}}, BL_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_i L_{ik}}{\frac{1}{n^2} \sum_{ij} L_{ij}}.$$

Показник  $FL_k$  характеризує відносний вплив змін кінцевого використання всієї економіки на галузь,  $BL_k$  – вплив кінцевого використання галузі на всю економіку. Галузь є прямо орієнтованою за умови  $FL_k > 1, BL_k < 1$ ; зворотно орієнтованою, коли  $FL_k < 1, BL_k > 1$ ; слабо орієнтованою за  $FL_k < 1, BL_k < 1$ .

Класифікуємо агреговані трисекторні галузі економік Великобританії, Німеччини, Японії та Польщі відповідно до наведеної моделі (табл. 11).

Таблиця 11. Коefіцієнти впливу й відклику, класифікація галузей

Сектор	Великобританія, 2018			Німеччина, 2017			Японія, 2015			Польща, 2015		
	$FL_k$	$BL_k$	Тип	$FL_k$	$BL_k$	Тип	$FL_k$	$BL_k$	Тип	$FL_k$	$BL_k$	Тип
Первинний	0,5624	1,0893	←	0,6695	0,9505	↓	0,5886	1,0229	←	0,5770	1,0495	←
Вторинний	1,4758	1,1095	↑	1,1145	1,0950	↑	1,3772	1,1750	↑	1,4418	1,1444	↑
Третинний	0,9618	0,8012	↓	1,2160	0,9545	→	1,0342	0,8022	→	0,9811	0,8060	↓

**Примітка:** ↑ – ключова галузь; → – галузі з прямим впливом; ← – галузі з оберненим впливом; ↓ – галузі зі слабким впливом.

Складено на основі власних розрахунків автора.

Єдиним для всіх досліджуваних країн ключовим сектором є промисловість, що підтверджує її особливе значення для економічного розвитку, її великий вплив на інші сектори в системі сукупних попиту і пропозиції. Аграрний сектор характеризується як сектор із оберненим впливом для Великобританії, Японії й Польщі, водночас для Німеччини він є сектором зі слабким впливом. Сфера послуг виступає сектором із прямим впливом для Німеччини та Японії, а для Великобританії й Польщі характеризується слабким впливом.

На підставі викладеного доходимо таких висновків. Пожвавлення економіки потребує активізації виробництва, підтримки та захисту конкуренції, впровадження менш витратних виробничих технологій, розвитку виробництв із вищою доданою вартістю. Наведений підхід може бути поширений на більш деталізовані ТВВ, проте саме агрегована ТВВ вказує на секторальні особливості формування доходів (ВВП) і напрями їх використання, дохідність та витратність секторів на етапі виробництва тощо. Отже:

1. Зменшення витратності економіки потребує дотримання концепції дохідності також на інших рівнях – галузевому, секторальному, регіональному, інституційному.

2. Критичність виробничої інфраструктури доцільно досліджувати за допомогою методу “витрати-випуск” та відповідних статистичних інформаційних масивів. Для первинних оцінок і порівняльних цілей можливе застосування агрегованих ТВВ, зокрема трисекторних, що включають агро-сектор, промисловість та сферу послуг.

3. У рамках агрегованих ТВВ розглянуто галузеву структуру економіки Великобританії, Німеччини, Японії, Польщі; визначено прямі й повні витрати (матриця Леонтєва), показники критичності виробничої інфраструктури.

4. Критичність виробничої інфраструктури характеризують коефіцієнти Брауера – Солоу, число та вектор Фробеніуса, коефіцієнти доданої вартості, впливу й відклику та ін. Для оцінювання виробничих систем, їхньої продуктивності слід використовувати похідні якісні оцінки – вироблений продукт на одну особу, на одного зайнятого в секторі (галузі).

5. Порівняльний аналіз показників свідчить, що країнам із розвинутою ринковою економікою (Великобританія, Німеччина, Японія) притаманна вища ефективність виробництва (порівняно з Польщею). На це вказують коефіцієнти доданої вартості та Брауера – Солоу в розрізі секторів і по країні загалом.

6. Єдиним для всіх досліджуваних країн ключовим сектором є промисловість, що підтверджує її особливе значення для економічного розвитку, великий вплив на інші сектори в системі сукупних попиту і пропозиції.

7. Аграрний сектор є сектором з оберненим впливом для Великобританії, Японії й Польщі та зі слабким впливом для Німеччини; сфера послуг – сектором із прямим впливом для Німеччини й Японії та зі слабким для Великобританії й Польщі.

8. У ході проведення порівняльних досліджень показників критичності для низки країн визначено, зокрема, прямі витрати та похідні показники критичності виробничої системи (число й вектор Фробеніуса та ін.).



9. Джерелом фінансування виробничої інфраструктури як частини критичної інфраструктури є власні й залучені ресурси “виробників” і “споживачів”.

10. Схема “витрати-випуск” як метод аналізу розроблялася для оцінювання економічного потенціалу та виявлення критичних ланок у системі міжгалузевої взаємодії. Тому вона широко використовується міжнародними фінансовими організаціями [32], наприклад для оцінки ключових економічних параметрів, особливостей галузевого й національного економічного розвитку тощо.

11. Уряді країн є точний офіційний перелік секторів і підгалузей критичної інфраструктури, в інших таких перелік відсутній. Найбільш критичними секторами в усіх країнах є банківська справа та фінанси, центральний уряд і служби, зв'язок та ІКТ, аварійно-рятувальні служби, електроенергетика, медичні послуги, продукти харчування, транспорт, водопостачання тощо.

12. Поліпшення параметрів критичності виробничої інфраструктури економіки України потребує застосування схеми “витрати-випуск”, зокрема підготовки агрегованих і більш деталізованих таких схем, визначення критичних параметрів виробничої системи. Критичні галузі мають бути захищені від зовнішніх шоків (особливо з боку країн-агресорів), орієнтуватися на внутрішню самодостатність як основу стабільності й розвитку.

### Список використаних джерел

1. Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/114/oj>.

2. Про критичну інфраструктуру : проект Закону України від 09.03.2021 № 5219. URL: [https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=71355](https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71355).

3. Об'єкти критичної інфраструктури та об'єкти критичної інформаційної інфраструктури в європейських країнах / Європейський інформаційно-дослідницький центр. URL: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29297.pdf>.

4. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research / P. Pederson, D. Dudenhofer, S. Hartley, M. Permann. 2006. August. URL: <https://indigitallibrary.inl.gov/sites/sti/sti/3489532.pdf>.

5. Eusgeld I., Henzi D., Kröger W. Comparative Evaluation of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructures : Scientific Report. 2008. URL: [https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/ski/publikationen/\\_jcr\\_content/contentPar/accordion/accordionItems/grundlagen\\_und\\_forsc/accordionPar/downloadlist\\_1586716/downloadItems/352\\_1461327458429.download/comparativeevaluation.pdf](https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/ski/publikationen/_jcr_content/contentPar/accordion/accordionItems/grundlagen_und_forsc/accordionPar/downloadlist_1586716/downloadItems/352_1461327458429.download/comparativeevaluation.pdf).

6. Eusgeld I., Kröger W. Comparative Evaluation of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructures. 2008. URL: <https://www.researchgate.net/publication/293110383>.

7. Complex approach to assessing resilience of critical infrastructure elements International journal of critical infrastructure protection / D. Rehak, P. Senovsky, M. Hromada, T. Lovecek. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2019. Vol. 25. P. 125–138. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2019.03.003>.

8. Rinaldi S., Peerenboom J., Kelly T. Critical infrastructure Interdependencies: Identifying, Understanding, Analyzing. *IEEE Control Systems Magazine*. 2001. Vol. 21, No. 6. P. 11–25. URL: <https://doi.org/10.1109/37.969131>.

9. Giannopoulos G., Dorneanu B., Jonkeren O. Risk Assessment Methodology for Critical Infrastructure Protection. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2012. 63 p. URL: <https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/default/files/e-library/docs/pdf>.

10. Долінчук С. Керована конфронтація: підсумки першої зустрічі Байдена та Путіна. *MIND*. 2021. 17 черв. URL: <https://mind.ua/publications/20227540-kerovana-konfrontaciya-pidsumki-pershoyi-zustrichi-bajdena-ta-putina>.

11. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні : збірник матеріалів міжнародних експертних нарад / упоряд. Д. С. Бірюков, С. І. Кондратов ; за заг. ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2015. 176 с.

12. Developing The Critical Infrastructure Protection System in Ukraine : monograph / S. Kondratov, D. Bobro, V. Horbulin et al. ; general editor O. Sukhodolia. Kyiv : NISS, 2017. 184 p.

13. International Journal of Critical Infrastructure Protection. URL: <https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-critical-infrastructure-protection/>.

14. System of National Accounts 2008 / United Nations. New York, 2009. 722 p. URL: <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/sna2008.pdf>.

15. European system of accounts – ESA 2010 / European Commission, Eurostat. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2013. 688 p. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5925693/KS-02-13-269-EN.PDF/44cd9d01-bc64-40e5-bd40-d17df0c69334>.

16. National accounts statistics: Main aggregates and detailed tables, 2018 / United Nations. Department of Economic and Social Affairs Statistics Division. Pt. I–V. New York, 2019. URL: <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/sdpubs/madt-2019.pdf>.

17. Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables / European Commission. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2008. 590 p.

18. Input-Output-Тabelle der inländischen Produktion und Importe zu Herstellungspreisen 2017 (Revision 2019) in Milliarden Euro / Statistisches Bundesamt. 2021. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/inlandsprodukt-input-outputrechnung.html>.

19. Форрестер Д. Индустриальная динамика. Москва : Прогресс, 1971.

20. Мережі Петрі. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Мережі\\_Петрі](https://uk.wikipedia.org/wiki/Мережі_Петрі).

21. Національні рахунки України за 2019 рік : стат. зб. / Державна служба статистики України. Київ, 2021. URL: [http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/02/Nac\\_rah\\_19.pdf](http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/02/Nac_rah_19.pdf).

22. Математическая экономика на персональном компьютере : пер. с яп. / М. Кубонива, М. Табата, С. Табата, Ю. Хасэбэ; под ред. М. Кубонива; под ред. и с предисл. Е. З. Демиденко. Москва : Финансы и статистика, 1991. 304 с.

23. Кулик В. В. Досвід Японії: Системний аналіз та моделювання міжгалузевих зв'язків. *Фінанси України*. 2021. № 1. С. 83–102. URL: <https://doi.org/10.33763/finukr2021.01.083>.

24. Кулик В. В. Аналіз галузевої структури економік Японії та України в рамках агрегованих моделей «витрати-випуск». *Наукові праці НДФІ*. 2020. №3. С. 109–127. URL: <https://doi.org/10.33763/npdfi2020.03.109>.

25. Ланкастер К. Математическая экономика / под ред. и с послесл. Д. Б. Юдина. Москва : Советское радио, 1972. 464 с.

26. Оленев Н. Н., Обросова Н. К. Численные методы в математической экономике. Москва : РУДН, 2016. 72 с.

27. Ястремський О. І. Порівняльний аналіз структури національних економік: Україна (2005, 2011 рр.) – Польща (2005 р.). *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2014. № 1. С. 112–119.

28. Brunner E., Suter M. International CIIP Handbook 2008 / 2009 An inventory of 25 national and 7 international critical information infrastructure protection policies. Zurich : Center for Security Studies, ETH, 2008. URL: <https://css.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-security-studies/pdfs/CIIP-HB-08-09.pdf>.

29. 2015 Input-Output Tables for Japan. Portal Site of Official Statistics of Japan. URL: [https://www.soumu.go.jp/english/dgpp\\_ss/data/io/io15\\_00001.htm](https://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/data/io/io15_00001.htm).

30. Ястремський О. І. Ключові та ефективні види економічної діяльності України. *Вісник економічної науки України*. 2018. № 2. С. 177–182.

31. Ястремський О. І., Кулик В. В. Міжгалузєва мапа невизначеності економіки України та її застосування. *Кібернетика та системний аналіз*. 2021. № 3. С. 76–90. URL: <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00364-8>.

32. Key Indicators for Asia and The Pacific 2019. 50<sup>th</sup> Ed. / Asian Development Bank. 2020. URL: <http://dx.doi.org/10.22617/FLS190428-3>.

## References

1. EU Council. (2008, December 8). *Directive 2008/114/EC on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection*. Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/114/oj>.
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2021). *About critical infrastructure* (Draft Law No. 5219, March 9). Retrieved from [https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=71355](https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71355) [in Ukrainian].
3. European Information and Research Center. (n. d.). *Critical infrastructure and critical information infrastructure in European countries*. Retrieved from <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29297.pdf> [in Ukrainian].
4. Pederson, P., Dudenhoeffer, D., Hartley, S., & Permann, M. (2006, August). *Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research*. Retrieved from <https://indigitalibrary.inl.gov/sites/sti/sti/3489532.pdf>.
5. Eusgeld, I., Henzi, D., & Kröger, W. (2008). *Comparative Evaluation of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructures* (Scientific Report). Retrieved from [https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/ski/publikationen/\\_jcr\\_content/contentPar/accordion/accordionItems/grundlagen\\_und\\_forsc/accordionPar/downloadlist\\_1586716/downloadItems/352\\_1461327458429.download/comparativeevaluation.pdf](https://www.babs.admin.ch/content/babs-internet/de/aufgabenbabs/ski/publikationen/_jcr_content/contentPar/accordion/accordionItems/grundlagen_und_forsc/accordionPar/downloadlist_1586716/downloadItems/352_1461327458429.download/comparativeevaluation.pdf).
6. Eusgeld, I., & Kröger, W. (2008). *Comparative Evaluation of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructures*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/293110383>.
7. Rehak, D., Senovsky, P., Hromada, M., & Lovecek, T. (2019). Complex approach to assessing resilience of critical infrastructure elements International journal of critical infrastructure protection. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 25, 125–138. DOI: 10.1016/j.ijcip.2019.03.003.
8. Rinaldi, S., Peerenboom, J., & Kelly, T. (2001). Critical infrastructure Interdependencies: Identifying, Understanding, Analyzing. *IEEE Control Systems Magazine*, 21 (6), 11–25. DOI: 10.1109/37.969131.
9. Giannopoulos, G., Dorneanu, B., & Jonkeren, O. (2012). *Risk Assessment Methodology for Critical Infrastructure Protection*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/home-affairs/sites/default/files/e-library/docs/pdf>.
10. Dolinchuk, S. (2021, June 17). Managed confrontation: results of the first meeting between Biden and Putin. *MIND*. Retrieved from <https://mind.ua/publications/20227540-kerovana-konfrontaciya-pidsumki-pershoyi-zustrichi-bajdena-ta-putina> [in Ukrainian].
11. Sukhodolia, O. M. (2015). *Green Paper on Critical Infrastructure Protection in Ukraine*. Kyiv: NISS [in Ukrainian].
12. Sukhodolia, O. (Ed.). (2017). *Developing The Critical Infrastructure Protection System in Ukraine*. Kyiv: NISS.
13. International Journal of Critical Infrastructure Protection. (n. d.). Retrieved from <https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-critical-infrastructure-protection/>.
14. United Nations. (2009). *System of National Accounts 2008*. New York. Retrieved from <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/sna2008.pdf>.
15. European Commission, & Eurostat. (2013). *European system of accounts – ESA 2010*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5925693/KS-02-13-269-EN.PDF/44cd9d01-bc64-40e5-bd40-d17df0c69334>.
16. United Nations. Department of Economic and Social Affairs Statistics Division. (2019). *National accounts statistics: Main aggregates and detailed tables, 2018* (Pt. I–V). New York, Retrieved from <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/sdpubs/madt-2019.pdf>.
17. European Commission. (2008). *Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

18. Statistisches Bundesamt. (2021). *Input-Output-Tabelle der inländischen Produktion und Importe zu Herstellungspreisen 2017 (Revision 2019) in Milliarden Euro*. Retrieved from <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Tabellen/innlandsprodukt-input-ouptrechnung.html>.
19. Forrester, D. (1971). *Industrial dynamics*. Moscow: Progress [in Russian].
20. Wikipedia. (n. d.). *Petri nets*. Retrieved from [https://uk.wikipedia.org/wiki/Мережі\\_Перпі](https://uk.wikipedia.org/wiki/Мережі_Перпі) [in Ukrainian].
21. State Statistics Service of Ukraine. (2021). *National accounts of Ukraine for 2019*. Kyiv. Retrieved from [http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/02/Nac\\_rah\\_19.pdf](http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/02/Nac_rah_19.pdf) [in Ukrainian].
22. Kuboniva, M., Tabata, M., Tabata, S., & Hasebe, Y. (1991). *Mathematical economics on a personal computer*. Moscow: Finance and Statistics [in Russian].
23. Kulyk, V. (2021). Japan experience: system analysis and modelling inter-industry relations. *Finance of Ukraine*, 1, 83–102. DOI: 10.33763/finukr2021.01.083 [in Ukrainian].
24. Kulyk, V. (2020). Analysis of Japan's and Ukraine's sectoral structure of the economy within the framework of the aggregated input-output models. *RFI Scientific Papers*, 3, 109–127. DOI: 10.33763/npndfi2020.03.109 [in Ukrainian].
25. Lancaster, K. (1972). *Mathematical Economics*. Moscow: Soviet radio [in Russian].
26. Olenev, N. N., & Obrosova, N. K. (2016). *Numerical methods in mathematical economics*. Moscow: RUDN [in Russian].
27. Yastremskiy, O. I. (2014). Comparative analysis of the structure of national economies: Ukraine (2005, 2011 years) – Poland (2005 year). *Foreign Trade: Economics, Finance, Law*, 1, 112–119 [in Ukrainian].
28. Brunner, E., & Suter, M. (2008). *International CIIP Handbook 2008 / 2009 An inventory of 25 national and 7 international critical information infrastructure protection policies*. Zurich: Center for Security Studies, ETH. Retrieved from <https://css.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/pdfs/CIIP-HB-08-09.pdf>.
29. Portal Site of Official Statistics of Japan. (n. d.). *2015 Input-Output Tables for Japan*. Retrieved from [https://www.soumu.go.jp/english/dgpp\\_ss/data/io/io15\\_00001.htm](https://www.soumu.go.jp/english/dgpp_ss/data/io/io15_00001.htm).
30. Yastremskii, O. (2018). Key and effective economic activities of Ukraine. *Herald of the Economic Sciences of Ukraine*, 2, 177–182 [in Ukrainian].
31. Yastremskii, O., & Kulyk, V. (2021). Input–Output Map of Uncertainty of the Economy of Ukraine and its Application. *Cybernetics and Systems Analysis*, 3, 76–90. DOI: 10.1007/s10559-021-00364-8 [in Ukrainian].
32. Asian Development Bank. (2020). *Key Indicators for Asia and The Pacific 2019* (50<sup>th</sup> Ed.). DOI: 10.22617/FLS190428-3.