

*В. І. Кифяк,  
к. е. н., доцент кафедри бізнесу та управління персоналом,  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
ORCID ID: 0000-0002-6104-6403*

*З. І. Кобеля,  
к. е. н., доцент кафедри бізнесу та управління персоналом,  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
ORCID: 0000-0002-5135-4402*

*Я. В. Мельник,  
студент кафедри бізнесу та управління персоналом,  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
ORCID: 0000-0001-6825-8487*

DOI: 10.32702/2306-6806.2021.2.92

## ПОБУДОВА ДИНАМІЧНОЇ СТОХАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАГАЛЬНОЇ РІВНОВАГИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

*V. Kyfyak,  
PhD, Associate Professor of the Department of Business Economics  
and Human Management, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University  
Z. Kobelia,  
PhD, Associate Professor of the Department of Business Economics  
and Human Management, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,  
Ya. Melnyk,  
Student of the Department of Business Economics and Human Management,  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University*

CONSTRUCTION OF DYNAMIC STOCHASTIC MODEL OF GENERAL EQUILIBRIUM OF UKRAINIAN NATIONAL ECONOMY

---

*У роботі описано механізм та особливості формування динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги на прикладі формування власної динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги національної економіки України. Такий вид моделей є комплексним видом сучасних економічних моделей, який застосовується для поглибленого економіко-математичного аналізу стану економічної системи, а також прогнозування впливу факторів у короткостроковій та середньостроковій перспективі. Висвітлено етапи побудови динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги, аргументація вибору тих чи інших математичних описових форм зв'язків та особливості архітекtonіки системи одночасних рівнянь.*

*Під час дослідження було реалізовано методичний підхід до аналізу динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги за допомогою спеціалізованого пакету Dypage для програмного забезпечення Matlab. Цей спеціалізований пакет функцій дає змогу здійснити поточний аналіз моделі та її складових, а також дозволяє змодельовати майбутній розвиток за допомогою відповідного прогнозного функціоналу.*

*У результаті дослідження, ми отримали динамічну стохастичну модель взаємозв'язків національної економіки. Така модель відображає еластичність зв'язків та флуктуацій в економічній системі.*

*This article describes the mechanism and features of the formation of Dynamic stochastic models of general equilibrium on the example of the formation of its own dynamic stochastic model of the general equilibrium of Ukrainian national economy. This model type is a complex type of modern economic models, which is used for in-depth economic and mathematical analysis of the economic system, as well as forecasting the impact of factors in the short and medium term. The paper highlights the stages of Dynamic stochastic models of general equilibrium construction, the argumentation of the choice of certain mathematical descriptive forms of relations and the features of the system architecture of simultaneous equations. The model covers the business sector, the household sector, the financial sector and the influence of the foreign economic sector, and therefore can be considered to describe an open economic system*

*The study also implemented a methodological approach to the Dynamic stochastic models of general equilibrium analysis using a specialized Dynare package for Matlab software. This specialized package of functions allows to implement the current analysis of the model and its components, and also allows to model future development using the appropriate forecasting functionality. Such instruments can greatly simplify analytical calculations. These models are a powerful tool for analyzing economic systems at different levels of formation of economic relations, provide high accuracy of results and their argumentation.*

*The object of research in the article are sectoral economic processes of Ukrainian national economy, and the subject — their economic and economic-mathematical form of interaction and methods of their systematic expression and forecasting*

*As a result of the study, we obtained a dynamic stochastic model of the relationship between the national economy. The model takes into account such components as the production process, accumulation of productive capital, external and internal investment processes, human resources development, technological development and monetary policy of the National Bank. This model reflects the elasticity of relationships and fluctuations in the economic system.*

*Ключові слова: економічна система, економічні взаємозв'язки, національна економіка, сектори економіки, логлінеаризовані рівняння.*

*Key words: economic system, economic interrelations, national economy, business sector, loglinearized equations.*

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасні економічні зв'язки характеризуються високою складністю комплексного аналізу та подальшого прогнозування. Розгляд окремих взаємозв'язків є важливим для розуміння їх власного вектора поведінки, проте лише комплексний підхід щодо вирішення економічних проблем, встановлення обґрунтованої економічної політики чи прогнозування стану економічної системи у майбутньому є дієвим на практиці. Проте комплексний аналіз взаємозв'язків національної економіки є доволі складним, адже потребує спеціалізованого економіко-математичного та аналітичного інструментарію. Одним із таких інструментів аналізу є DSGE-моделі, які являють собою сукупність одночасних рівнянь, що описують економічну систему на різних рівнях її функціонування. Побудова таких моделей є доволі складною, адже потребує максимально точного формулювання взаємозв'язків та калібрування моделі, логлінеаризації рівнянь чи приведення моделі до стаціонарного стану. Тим не менш, подібні моделі добре себе зарекомендували на практиці, про що свідчить їх активне використання національними банками Англії, Європейського Союзу, Індії, Швеції та інших країн. За допомогою них можна активно аналізувати та прогнозувати вплив на національну економіку пропонованих змін у середньостроковій та довгостроковій перспективі, проте, за рахунок впливу на економіку різних флуктуацій цей інструмент є ефективним лише у середньостроковому прогнозуванні. У цій роботі буде здійснено спроба реалізації цього інструменту на прикладі економічної системи України.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги часто використовуються економістами у аналізі їхнього економічного середовища та прогнозуванні впливу різних факторів.

Серед основних напрямів застосування стохастичних моделей загальної рівноваги виявлених у ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені [1, 2], але в них розглянуто реалізацію їх в монетарній політиці, а проблеми застосування даних моделей для національних систем залишилися не розкритими повністю.

Більш широко досліджено використання цих моделей у праці [3], проте у роботі розглядається неокласичний погляд на економетричні моделі, що робить працю односторонньою.

Роботу [4] присвячено побудові моделей за умов шоку та флуктуацій у циклах розвитку економічної системи, а у праці [5] показано альтернативний варіант вирішення проблеми на основі визначення ефектів від таких шоків.

Об'єктом дослідження DSGE-моделей стала робота [6], у якій визначено критичний аналіз застосування таких моделей на практиці. Проте не враховано переваги адаптивних моделей за різної компонентної структури.

Політичну інтерпретацію аналізу моделі здійснено у статті [7], у якій визначено важливу роль шоків у економічному зростанні, проте не приділено достатньо уваги системним зв'язкам.

Найбільш повно та практично системні зв'язки були описані у роботі [8], яка, на нашу думку, може стати основою стохастичною моделювання монетарної полі-

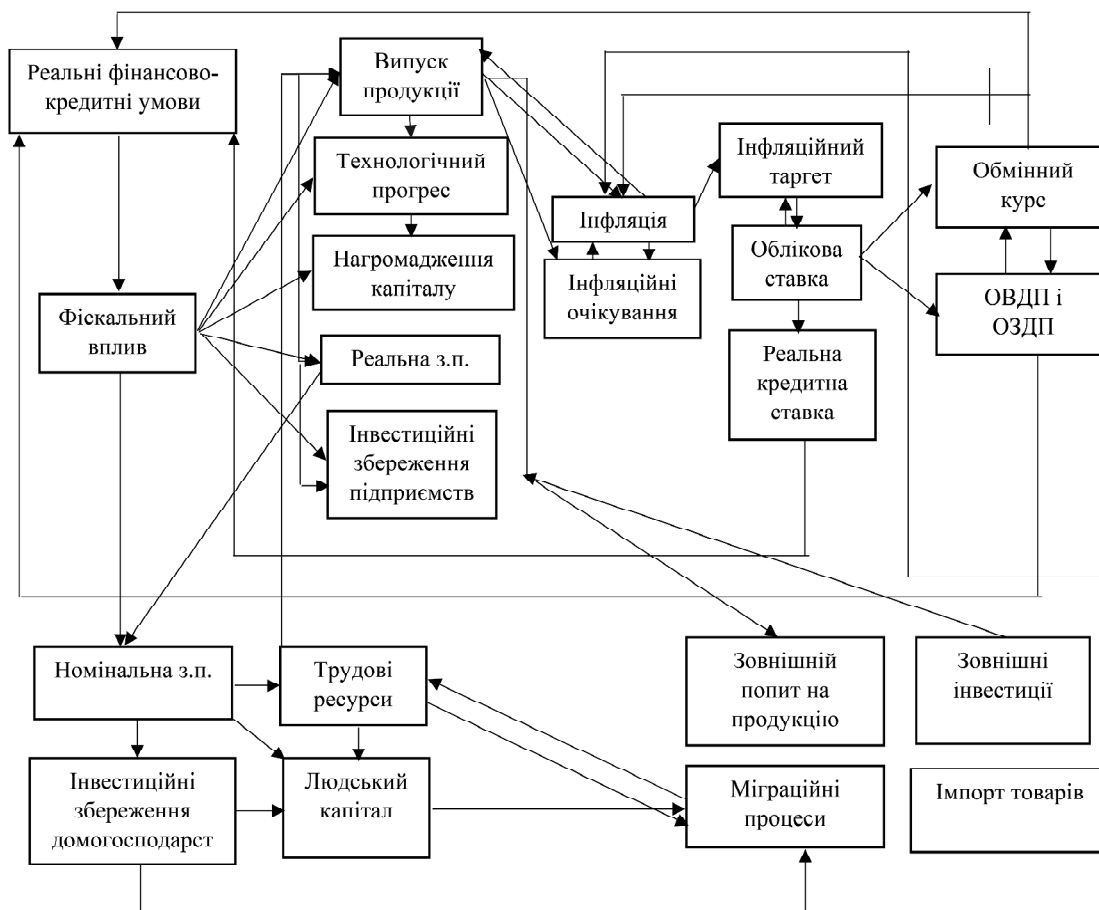


Рис. 1. Взаємозв'язки економічних категорій в DSGE-моделі

тики різних економічних систем. Проте відзначимо суто фінансовий характер пропонованої моделі.

У роботі [9], здійснено імплементацію DSGE-моделей у політику банку як інструмент прогнозування. Для прогнозування макроекономічних показників стохастичні моделі використані і в дослідженні [10]. Проте в обох дослідженнях є недоліки моделі у вигляді неврахування відхилень деяких факторів.

Більш досконалий варіант моделі для макроекономічного прогнозування використаний у роботі [11] через відкалібрування та з використанням методики оцінки Байеса з відносно жорсткими пріоритетами. Схожий варіант моделі розглядається і в роботі [12], але з вдосконаленням оцінки адекватності моделі.

У роботі [13] представлено напівструктурну модель загальної рівноваги відкритої економіки на основі новокейнсіанського підходу до монетарної політики України.

Методику побудови динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги розкрито у роботі [14], проте системне врахування взаємозв'язків у різних економічних системах за умов флуктуацій потребує подальшого дослідження.

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок про те, що DSGE-моделі мають практичне значення як засіб макроекономічного прогнозування та потребують вдосконалення в аспекті врахування специфічних особливостей національних економічних систем та флуктуацій.

## МЕТА СТАТТІ

Метою даного дослідження є побудова динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги української економічної системи, яка б охоплювала та репрезентувала більшість секторів економіки країни.

Відповідно до мети поставлено такі цілі:

1. Визначити методику моделювання взаємозв'язків у національній економіці, яка відповідає постулатам системного підходу.

2. Обґрунтувати послідовність та логічність встановлення взаємозв'язків економічних процесів та математичної форми їх вираження.

3. Реалізувати діагностику моделі та взаємовпливу економічних зв'язків за допомогою використання спеціалізованого програмного забезпечення.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Одним із перших кроків, які потрібно здійснити у побудові DSGE-моделі — це встановити структуру взаємозв'язків, які виникають між різними економічними процесами. Як правило, її візуалізують на рисунку для того, аби більш наочно для будь-кого відтворити структуру взаємозв'язків різних економічних категорій та процесів. Проте така структура залежить від ряду факторів, які можуть детермінувати її складові. Насамперед це масштаб розгляду економічної системи.

У економічній науці, як правило виокремлюють дві теоретичні моделі національної економіки — відкриту та закриту. Детермінація типу економічної системи є дуже важливою, адже відкрита економіка має дещо ширший спектр економічних процесів та взаємодій та описує вплив не тільки внутрішніх факторів на економічну систему, а й також враховує вплив взаємодії з іншими національними економіками. Індикаторами взаємозв'язків такої економічної системи можуть бути імпортована інфляція, обсяги експорту та імпорту товарів та послуг, грошові перекази з-за кордону чи міграційні процеси.

Національну економіку будь-якої країни слід структурувати за сферами та секторами, у залежності від ролі

економічних зв'язків у економічній системі. Така структуризація впливає на методику формування економічної системи, що описується, при розробці DSGE-моделі. Також структура економічної системи визначає репрезентативність самої DSGE-моделі національної економічної системи. Адаже чим комплексніше охоплені та описані сектори національної економіки, тим репрезентативніший є і кінцевий результат, тому що засвідчує загальну рівновагу економічної системи на базі рівноважних станів всіх секторів економіки.

У роботі буде розглянуто DSGE-модель відкритої національної економіки України з врахуванням сектору домогосподарств, підприємств, державного та фінансового сектору економіки. Ці сектори мають визначальний вплив на економічну систему, адже без їх нормального функціонування порушується будь-який економічний баланс. Крім того, вони взаємодетермінують стан одне одного, що однозначно є прикладом системи одночасних процесів.

На рисунку 1 відображено схему взаємозв'язків розробленої DSGE-моделі.

З рисунка 1 можна зробити висновок, що кожна економічна описова категорія формує власну множину взаємозв'язків з іншими категоріями, що демонструє відповідність реальній комплексності взаємозв'язків в економіці. Такий тип взаємозв'язків відповідає системі одночасних рівнянь DSGE-моделі.

Наступним етапом є визначення математичної форми вираження взаємозв'язків. Цей етап є важливим з як з погляду репрезентування видів зв'язку, так і з правильного математичного оформлення рівнянь DSGE-моделі, адже навіть після вираження зв'язків у чистій формі, потрібно здійснити процедуру логлінеаризації рівнянь.

Першим описовим рівнянням є рівняння виробництва товарів та послуг в економіці. Більшість економістів-науковців використовують у своїх працях виробничу функцію Кобба-Дугласа, проте у цій роботі буде використано рівняння (1) виробництва на базі моделі Менк'ю-Ромера-Вейла.

$$Y_t = K_t^\alpha H_t^\beta (A_t \cdot L_t)^{(1-\alpha-\beta)} \quad (1),$$

де  $K_t$  — об'єм капіталу;  $\alpha$  — коефіцієнт еластичності випуску від капіталу;  $H_t$  — рівень людського капіталу;  $\beta$  — коефіцієнт еластичності випуску від людського ресурсу;  $A_t$  — рівень технологічного прогресу;  $L_t$  — кількість задіяних людських ресурсів.

Застосувавши дію потенціювання обох частин виразу отримаємо такий вигляд функції:

$$\ln(Y_t) = \ln(K_t^\alpha H_t^\beta (A_t \cdot L_t)^{(1-\alpha-\beta)}), \quad (2);$$

$$\ln(Y_t) = \ln(K_t^\alpha H_t^\beta) + \ln((A_t \cdot L_t)^{(1-\alpha-\beta)}) \quad (3);$$

$$\ln(Y_t) = \ln(K_t^\alpha) + \ln(H_t^\beta) + \ln((A_t \cdot L_t)^{(1-\alpha-\beta)}) \quad (4);$$

$$\ln(Y_t) = \alpha \ln(K_t) + \beta \ln(H_t) + (1-\alpha-\beta) \ln(A_t \cdot L_t) \quad (5);$$

$$\ln(Y_t) = \alpha \ln(K_t) + \beta \ln(H_t) + (1-\alpha-\beta)(\ln(A_t) + \ln(L_t)) \quad (6).$$

Отримавши кінцевий варіант логлінеаризованої функції виробництва, поданий у рівнянні (6), можна перейти і до інших складових системи.

Однією з таких компонент є процес нагромадження виробничого капіталу. Для реалізації відтворення та нагромадження обсягу капіталу в наступному періоді підприємства використовують як і зовнішні, так і внутрішні інвестиції. Отже, функція інвестицій буде залежати від граничної схильності до заощадження та ступеня інвестиційної привабливості.

Гранична схильність до заощадження буде характеризувати ступінь заощадження фінансових ресурсів серед резидентів України. Інвестиційна привабливість може проявлятися у граничній схильності до вкладень в українську економіку. У економічній системі попит та пропозиція зрівноважуються, а в процесі економічних

відносин формують дохід, який в процесі розподілу та перерозподілу між різними суб'єктами економічних відносин отримують всі суб'єкти взаємодії. Математична форма цих взаємозалежностей буде мати такий вигляд:

$$I_t = (\alpha Y_t)^\beta + (I_t^{nr})^{(1-\gamma)} \quad (7),$$

де  $I_t$  — обсяг інвестицій;  $\alpha$  — гранична схильність до заощадження;  $\beta$  — гранична схильність до інвестування;  $\gamma$  — коефіцієнт виведення інвестицій;  $I_t^{nr}$  — обсяг іноземних інвестицій.

Логлінеаризувавши рівняння отримаємо такий вигляд функції:

$$\ln(I_t) = \beta \ln(\alpha Y_t) + (1-\gamma) \ln(I_t^{nr}) \quad (8).$$

Визначивши математичну форму вираження інвестицій, можна встановити її і для процесу нагромадження капіталу.

Нагромадження капіталу є стабільно зростаючою функцією, яка має авторегресійний характер. Зокрема визначальними факторами цього процесу є теперішні значення обсягів капіталу, обсягу залучених інвестицій та їх шоків, віддачі інвестицій та обсягів зносу капіталу. За таких умов нарощування капіталу можна виразити так:

$$K_{t+1} = \alpha(\beta I_t) + (1-\theta)K_t \quad (9),$$

де  $K_{t+1}$  — обсяг нагромадженого капіталу в наступний період;  $\alpha$  — коефіцієнт віддачі інвестицій;  $I_t$  — обсяг інвестицій;  $\theta$  — коефіцієнт зносу капіталу.

Важливою складовою секторів домогосподарств та суб'єктів господарювання є людський ресурс. За моделлю Менк'ю-Ромера-Вейла, людський ресурс характеризується двома показниками — рівнем розвитку людських ресурсів та обсягом залучених трудових ресурсів.

Спершу варто виразити функцію обсягу залучених трудових ресурсів. Ця категорія буде залежати від реального приросту капіталу в економіці, попереднього свого значення та міграції трудових ресурсів. Функціонально це явище виражене так:

$$L_t = \frac{K_t}{K_{t-1}} L_{t-1} - \beta L_{t-1}, \quad (10),$$

де  $L_t$  — обсяг зайнятих трудових ресурсів;  $\frac{K_t}{K_{t-1}}$  — приріст чи відтік капіталу;  $\beta$  — коефіцієнт міграції.

Що ж до рівня розвитку трудових ресурсів, то він також функціонально залежить від свого попереднього значення, конкурентоспроможності людських ресурсів, освіченості населення. Для спрощення всіх факторів не враховувались чимало інших, адже за різними підходами до бачення залежностей цієї категорії (особливо за новою інституціональною теорією) існує практично безліч детермінант, що впливають на неї. Нижче подано математичну форму взаємозв'язків:

$$H_t = (1-\alpha)H_{t-1} + H_{t-1}^\beta + Comp_{t-1}^\beta \quad (11),$$

де  $H_t$  — рівень людського капіталу;  $\alpha$  — коефіцієнт втрати людського капіталу;  $\beta$  — еластичність по зміні рівня освіти;  $Comp_t$  — рівень конкуренції трудових ресурсів.

Рівень технологічного розвитку є доволі простою економічною категорією, що складається з рівня інноваційності та ступеня технологічного укладу (12).

$$A = Innov_t + T_t \quad (12),$$

де  $Innov_t$  — рівень інноваційності економіки;  $T_t$  — ступінь технологічного укладу.

Рівняння (1)—(12) характеризують одразу два сектори економіки: сектор домогосподарств та підприємницький та взаємодію цих секторів з закордоном. Також вони описують і інші явища економіки (12).

На розрив валового внутрішнього продукту впливає і монетарна політика Національного банку, основ-

```

58 model(linear);
59 i_p = alpha_1*i_p(-1)+(1-alpha_1)*(r+e_inf+beta_1*e_inf-beta_1*inf_targ+gamma_1*gdp);
60 gdp = alpha_2*k+beta_2*h+gamma_2*a+gamma_2*1;
61 k(+1) = alpha_4*(beta_4*inv)+(1-teta_4)*k ;
62 inf1 = alpha_5*inf1(-1)+beta_5*e_inf+(1-alpha_5-beta_5)*(inf_w+d_s+z)+gamma_5*gdp+delta_5*z(-1)+teta_5*w+u_5*(inf_food-inf_targ);
63 inf_food = alpha_6*inf_food(-1)+beta_6*e_inf+(1-alpha_6-beta_6)*(fao+d_s+z)+gamma_6*gdp+delta_6*z(-1)+u_6*inf1;
64 r = r_w+prem+z;
65 z = alpha_8*z(-1)+(1-alpha_8)*d_gdp-(1-alpha_8)*d_to;
66 a = innov + t;
67 h = (1-alpha_9)*h(-1) + beta_9*h(-1) + beta_9*comp(-1);
68 l = k + l(-1) - k(-1) - beta_10 * l(-1);
69 inv = alpha_12*gdp*beta_12 + (1-gamma_12)*inv_nr;
70
71 end;
72
73 initval;
74 i_p = 12.0;
75 gdp = 12.13158;
76 gdp_g = 8.334934;
77 k = 13.97045;
78 inf1 = 0.9057;
79 inf_food = -8.7333;
80 r = 25.07;
81 z = 0.1733;
82 a = 3.321432;
83 h = -0.31883;
84 l = 16.84447;
85 inv = 18.83792;
86
87 end;
88
89 endval;
90
91 i_p = 14.8;
92 gdp = 13.693;
93 gdp_g = 10.039;

```

Рис. 2. Фрагмент коду DSGE-моделі в пакеті Dynare

ним інструментом якого є облікова ставка. Визначення поточної облікової ставки здійснюється за допомогою модифікованого рівняння Тейлора (13).

$$i_t^p = a_i i_{(t-1)}^p + (1-a_i) \left( \bar{r}_t + E(\text{inf}_{(t+1)}) \right) + \beta_1 \left( E(\text{inf}_{(t+1)}) - \text{InfTarg}_{(t+1)} \right) + \gamma_1 Y_t^{\text{gap}} \quad (13),$$

де  $\bar{r}_t$  — реальна нейтральна процентна ставка;  $E(\text{inf}_{(t+1)})$  — інфляційні очікування;  $\text{InfTarg}_{(t+1)}$  — інфляційний таргет;  $Y_t^{\text{gap}}$  — розрив ВВП.

Облікова ставка є одним із інструментів боротьби з інфляцією та стимулювання економіки. Проте інфляція також впливає на економіку загалом. Загальний рівень інфляції, а також споживчу інфляцію можна визначити за кривими Філіпса вираженими окремими рівняннями (14)—(17) для цих видів інфляції.

$$\text{Inf}_t = \alpha \text{Inf}_{t-1} + \beta E(\text{inf}_{t+1}) + (1-\alpha-\beta)(\text{Inf}_t^w + \Delta s_t - \Delta z_t) + \gamma Y_t^{\text{gap}} + \delta \Delta z_{t-1} + \theta w_t + \mu (\text{Inf}_t^{\text{food}} - \text{InfTarg}_t) \quad (14);$$

$$\text{Inf}_t^{\text{food}} = \alpha \text{Inf}_{t-1}^{\text{food}} + \beta E(\text{inf}_{t+1}) + (1-\alpha-\beta)(\Delta \text{fao}_t + \Delta s_t - \Delta z_t) + \gamma Y_t^{\text{gap}} + \delta \Delta z_{t-1} \quad (15).$$

Останніми складовими у цій системі є реальна кредитна ставка та тренди ефективного обмінного курсу:

$$\bar{r}_t = r_t^w + \text{prem}_t + (\Delta z_{t+1} - \Delta z_t) \quad (16);$$

$$\Delta z_t = \alpha \Delta z_{t-1} + (1-\alpha)\beta(\Delta Y_t) - \gamma \Delta \text{TO}_t \quad (17),$$

де  $r_t^w$  — глобальна нейтральна процентна ставка;  $\text{prem}_t$  — премія за суверенний ризик;  $\text{TO}_t$  — індекс умов торгівлі.

Наведені рівняння (13)—(17) описують фінансовий сектор економіки та визначають взаємозв'язки з іншими частинами національної економіки.

Виходячи з наведених математичних форм взаємозв'язків (1)—(17), можна сформулювати систему одночас-

них рівнянь (18).

$$\left\{ \begin{aligned} i_t^p &= \alpha_i i_{t-1}^p + (1-\alpha_i) \left( \bar{r}_t + E(\text{inf}_{t+1}) + \beta_1 (E(\text{inf}_{t+1}) - \text{InfTarg}_{t+1}) \right) + \gamma_1 Y_t^{\text{gap}} + \varepsilon_{1,t}, \\ Y_t &= \alpha_2 K_t + \beta_2 H_t + \gamma_2 (A_t + L_t) + \varepsilon_{2,t}, \\ K_{t+1} &= \alpha_3 (\beta_1) + (1-\theta_3) K_t + \varepsilon_{3,t}, \\ \text{Inf}_t &= \alpha_4 \text{Inf}_{t-1} + \beta_4 E(\text{inf}_{t+1}) + (1-\alpha_4 - \beta_4) (\text{Inf}_t^w + \Delta s_t - \Delta z_t) + \\ &+ \gamma_4 Y_t^{\text{gap}} + \delta_4 \Delta z_{t-1} + \theta_4 w_t + \mu_4 (\text{Inf}_t^{\text{food}} - \text{InfTarg}_t) + \varepsilon_{4,t}, \\ \text{Inf}_t^{\text{food}} &= \alpha_5 \text{Inf}_{t-1}^{\text{food}} + \beta_5 E(\text{inf}_{t+1}) + (1-\alpha_5 - \beta_5) (\Delta \text{fao}_t + \Delta s_t - \Delta z_t) + \\ &+ \gamma_5 Y_t^{\text{gap}} + \delta_5 \Delta z_{t-1} + \varepsilon_{5,t}, \\ \bar{r}_t &= r_t^w + \text{prem}_t + (\Delta z_{t+1} - \Delta z_t) + \varepsilon_{6,t}, \\ \Delta z_t &= \alpha_7 \Delta z_{t-1} + (1-\alpha_7) \beta_7 (\Delta \text{GDP}_t) - \gamma_7 \Delta \text{TO}_t + \varepsilon_{7,t}, \\ A_t &= \text{Innov}_t + T_t + \varepsilon_{8,t}, \\ H_t &= (1-\alpha_9) H_{t-1} + H_{t-1}^{\beta_9} + \text{Comp}_{t-1}^{\beta_9} + \varepsilon_{9,t}, \\ L_t &= \frac{K_t}{K_{t-1}} L_{t-1} - \beta_{10} L_{t-1} + \varepsilon_{10,t}, \\ I_t &= (\alpha_{11} Y_t)^{\beta_{11}} + (I_t^{\text{nr}})^{(1-\gamma_{11})} + \varepsilon_{11,t}. \end{aligned} \right. \quad (18).$$

Подальші обчислення будуть здійснюватись за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, а саме, пакету Matlab — Dynare. Пакет є спеціалізованим для реалізації DSGE-моделей та їх аналізу (рис. 3). Програмне забезпечення дозволяє не тільки розрахувати шоки, а їх візуалізувати за допомогою графічних рисунків.

Пакет Dynare надає широкий функціонал щодо побудови та аналізу DSGE-моделі, проте вимагає володіння навичками користування Matlab, а також знання синтаксису пакету Dynare. Це значно ускладнює роботу для багатьох непрофільних економістів у напрямках економічної кібернетики чи програмування.

З рисунку 2 можна побачити, що калібрування параметрів моделі відбувається вручну, вписуючи чітко визначене число конкретного параметру. Це дає ряд переваг та недоліків. З одного боку, статичні калібрувальні коефіцієнти не можуть адаптуватись до різних змін в економіці (до прикладу параметри еластичності), з іншо-

VARIANCE DECOMPOSITION (in percent)

	e_inf	inf_targ	lr	w	ex	to	f	prem
i_p	0.06	1.56	0.11	0.01	0.52	0.00	0.02	96.56
gdp	0.04	1.13	0.14	0.01	0.65	0.00	0.03	84.35
gdpq	0.00	0.00	3.82	0.24	17.54	0.04	0.70	76.12
k	0.05	1.23	0.16	0.01	0.73	0.00	0.03	92.91
infl	1.47	2.09	2.61	1.93	12.00	0.03	0.48	52.07
inf_food	1.79	0.01	2.17	0.20	9.96	0.02	0.40	43.24
r	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.61
z	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
l	0.05	1.38	0.10	0.01	0.45	0.00	0.02	86.07
inv	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.61

a

inf_w	d_s	fao	comp	migr	d_k	il	inv_at	r_w
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
0.00	0.00	0.00	0.79	8.68	1.72	0.62	0.05	0.30
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.11	0.37	1.68	0.61	0.08	0.33
3.18	0.35	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	0.64	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	99.95	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.04	2.89	0.00	0.29
0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.23	0.00

b

MATRIX OF CORRELATIONS

Variables	i_p	gdp	gdpq	k	infl	inf_food	r	z	a	h	l	inv
i_p	1.0000	-0.6465	-0.8112	-0.4723	-0.5917	-0.5070	0.7453	0.0698	-0.0012	-0.0027	0.9437	-0.1192
gdp	-0.6465	1.0000	0.5652	0.9179	0.4775	0.4449	-0.2730	-0.0520	-0.0830	0.2962	-0.6387	0.0434
gdpq	-0.8112	0.5652	1.0000	0.4346	0.8582	0.7793	-0.6191	0.0782	0.0019	0.0025	-0.7664	0.1016
k	-0.4723	0.9179	0.4346	1.0000	0.3996	0.3878	-0.0868	-0.0417	-0.0125	0.0061	-0.4417	0.0136
infl	-0.5917	0.4775	0.8582	0.3996	1.0000	0.9485	-0.3925	0.4106	0.0034	0.0024	-0.5596	0.0738
inf_food	-0.5070	0.4449	0.7793	0.3878	0.9485	1.0000	-0.2955	0.5300	0.0040	0.0023	-0.4797	0.0606
r	0.7453	-0.2730	-0.6191	-0.0868	-0.3925	-0.2955	1.0000	0.0349	0.0001	-0.0000	0.7045	-0.1609
z	0.0698	-0.0520	0.0782	-0.0417	0.4106	0.5300	0.0349	1.0000	0.0042	-0.0003	0.0647	0.0136
a	-0.0012	-0.0830	0.0019	-0.0125	0.0034	0.0040	0.0001	0.0042	1.0000	-0.0004	-0.0015	0.0001
h	-0.0027	0.2962	0.0025	0.0061	0.0024	0.0023	-0.0000	-0.0003	-0.0004	1.0000	-0.0025	-0.0000
l	0.9437	-0.6387	-0.7664	-0.4417	-0.5596	-0.4797	0.7045	0.0647	-0.0015	-0.0025	1.0000	-0.1127
inv	-0.1192	0.0434	0.1016	0.0136	0.0738	0.0606	-0.1609	0.0136	0.0001	-0.0000	-0.1127	1.0000

в

COEFFICIENTS OF AUTOCORRELATION

Order	1	2	3	4	5
i_p	0.6607	0.4352	0.2858	0.1870	0.1218
gdp	0.8740	0.8107	0.7399	0.6679	0.5983
gdpq	0.7039	0.4956	0.3491	0.2460	0.1734
k	0.9763	0.9217	0.8514	0.7752	0.6986
infl	0.7972	0.6031	0.4476	0.3298	0.2424
inf_food	0.8792	0.7080	0.5477	0.4153	0.3117
r	0.0009	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003
z	0.7500	0.5625	0.4219	0.3164	0.2373
a	0.7400	0.5476	0.4052	0.2999	0.2219
h	0.0019	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001
l	0.5871	0.3855	0.2519	0.1636	0.1055
inv	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Total computing time : 0h00m18s

>>

г

Рис. 3. Основна назва: а – матриця декомпозиції шоків; б – матриця декомпозиції шоків (продовження); в – кореляційна матриця; г – матриця коефіцієнтів автокореляції

го — статичні параметри дають змогу прослідкувати короткостроковий та середньостроковий вплив на економічну систему.

Отже, ми отримали DSGE-модель взаємозв'язків національної економіки. У моделі враховані такі компоненти як процес виробництва, нагромадження виробничого капіталу, зовнішніх та внутрішніх інвестиційних процесів, розвитку людських ресурсів, технологічного розвитку та монетарної політики Національного банку. Така модель відображає еластичність зв'язків та флуктуацій в економічній системі.

Здійснено SWOT-аналіз результатів досліджень:

**Strengths.** Сильною стороною результатів дослідження є те, що побудована DSGE-модель охоплює значну кількість економічних процесів, що виникають у національній економіці. Структурне врахування взаємозв'язків дає змогу більш точно та комплексно встановлювати результати прогнозування в середньостроковій перспективі. Запропонований підхід може стати базою розробки економічної політики на макrorівні, який комплексно враховує архітектуру зв'язків в економічній системі.

**Weaknesses.** Слабкою стороною даного дослідження є те, що з часом калібровочні коефіцієнти моделі мають змінюватись, а тому модель потребує постійного коректування в часі. Що збільшує трудомісткість цього дослідження та ставить під сумнів використання моделі з поточними калібровочними коефіцієнтами в довгостроковій перспективі. Не менш вагомою слабкою стороною є і те, що подібні результати можна отримати з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, розуміння дії якого потребує професійних спеціалізованих знань.

**Opportunities.** Перспективи застосування та удосконалення результатів даного дослідження можна розглядати за декількома аспектами. По-перше, її можна модифікувати, розширюючи вираження економічних процесів у різних секторах економіки. По-друге, подібний алгоритм можна застосовувати для спеціалізованих секторальних моделей, для вивчення їхніх економічних процесів та взаємозв'язків. По-третє, калібрування самої моделі також можна вдосконалити для реалізації більш обґрунтованих розрахунків. Розроблені рівняння моделі підлягають модифікації, залежно від умов та флуктуацій. Змінюються і підходи щодо визначення математичної форми економічних зв'язків, що неодмінно може вносити корективи в результати дослідження та їх використання.

**Threats.** Тим не менш існує чимало загроз, зокрема у разі збільшення кількості одночасних рівнянь, зростає і промізкість розрахунків, що може збільшувати ризик механічних помилок у розрахунках. Також однією із загроз є те, що хоча у світі напрям стає все популярнішим, науковці приділяють йому не достатню увагу, а відтак, обсяг джерел, необхідних для початківців у цьому напрямі може значно зменшитись. Така динаміка формує ризики зменшення як кількості, так і якості економічних досліджень у цьому напрямі.

## ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК

Отже, у результаті дослідження ми дійшли таких висновків:

1. Визначено методіку DSGE-моделювання через такий алгоритм: встановлення структури взаємозв'язків, які виникають між різними економічними процесами у схематичній та математичних формах та здійснення калібрування параметрів моделі за допомогою програмного забезпечення.

2. Обґрунтовано математичні форми вираження взаємозв'язків національної економіки, як з погляду репрезентування видів зв'язку, так і з правильного математичного оформлення рівнянь DSGE-моделі. Здійснено процедуру логлінеаризації рівнянь.

3. Здійснено обчислення за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, а саме: пакету Matlab-Dynare. Пакет є спеціалізованим для реалізації DSGE-моделей та їх аналізу.

Побудована DSGE-модель охоплює значну кількість економічних процесів, що виникають у національній економіці. Структурне врахування взаємозв'язків дає змогу більш точно та комплексно встановлювати результати прогнозування в середньостроковій перспективі. Запропонований підхід може стати базою розробки економічної політики на макrorівні, який комплексно враховує архітектуру зв'язків в економічній системі.

Перспективи застосування та удосконалення результатів даного дослідження можна розглядати за декількома аспектами. По-перше, її можна модифікувати, розширюючи вираження економічних процесів у різних секторах економіки. По-друге, подібний алгоритм можна застосовувати для спеціалізованих секторальних моделей, для вивчення їхніх економічних процесів та взаємозв'язків. По-третє, калібрування самої моделі також можна вдосконалити для реалізації більш обґрунтованих розрахунків. Розроблені рівняння моделі підлягають модифікації, залежно від умов та флуктуацій. Змінюються і підходи щодо визначення математичної форми економічних зв'язків, що неодмінно може вносити корективи в результати дослідження та їх використання.

## Література:

- Laxton D. Practical Model-Based Monetary Policy Analysis — A How-To Guide, IMF Working Paper. 2006. №06/81. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2006/wp0681.pdf>
- Fisher S., Hahn F. Chapter 21 Rules Versus Discretion In Monetary Policy Handbook of Monetary Economics, Vol. 2, 1990, P. 1155—1184. URL: [https://doi.org/10.1016/S1573-4498\(05\)80028-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4498(05)80028-1)
- Hayashi F. Tobin's marginal Q and average Q: A neoclassical interpretation *Econometrica*. 1982. № 50. P. 213—224.
- Smets F., Wouters R. Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach. *American Economic Review*. 2007. № 97. P. 586—606.
- Ravnik R. The use of SVAR analysis in determining the effects of scal shocks in Croatia. *Financial Theory and Practice*. 35 (1): 25—58. URL: [https://www.researchgate.net/publication/227448259\\_The\\_use\\_of\\_SVAR](https://www.researchgate.net/publication/227448259_The_use_of_SVAR)
- Blanchard O. Do DSGE Models Have a Future? 2016. Policy Brief 16—11. URL: <https://www.piie.com/publications/policy-briefs/do-dsge-models-have-future>
- Sbordone A.M., Tambalotti A., Rao K., Walsh K. Policy Analysis Using DSGE Models: An Introduction. FRBNY Economic Policy Review, 2010. PP. 23—43. URL: <https://www.newyorkfed.org/medialibrary/media/research/epr/10v16n2/1010sbor.pdf>
- Timmermann A. Chapter 2 — DSGE Model-Based Forecasting. Handbook of Economic Forecasting. Vol. 2. Part A. 2013. P. 2—688. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53683-9.00002-5>
- Rochelle M.E., Refet S.G. How useful are estimated DSGE model forecasts? Finance and Economics Discussion Series. 2011-11, 2011. Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.). URL: <https://www.federalreserve.gov/pubs/feds/2011/201111/201111pap.pdf>
- Christoffel K., Coenen G., Warne A. Forecasting with DSGE Models. European Central Bank. Working paper series. 2010. URL: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1185.pdf>
- Amarasekara Ch., Anand R., Ehelepola K., Ekanayake H., Jayawickrema V., Jegajeevan S., Kober C., Nugawela Th., Plotnikov S., Remo A., Venuganan P. & Yatigammana R. An Open Economy Quarterly Projection

Model for Sri Lanka. IMF Working Paper, 2018. № 18/149. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/06/25/An-Open-Economy-Quarterly-Projection-Model-for-Sri-Lanka-45984>

12. Harrison R., Oomen O. Evaluating and estimating a DSGE model for the United Kingdom. Working Paper. 2010. № 380. URL: <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2010/evaluating-and-estimating-a-dsge-model-for-the-uk.pdf>

13. Grui A., Vdovychenko A. Quarterly Projection Model for Ukraine. NBU Working Papers. 2019. № 3. Kyiv: National Bank of Ukraine. URL: [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/WP\\_2019\\_03\\_Grui\\_Vdovychenko.pdf](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/WP_2019_03_Grui_Vdovychenko.pdf)

14. Лук'яненко І.Г., Семко Р.Б. Динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги: Теорія побудови та практика використання у фінансових дослідженнях: Монографія. НАУКМА, 2015. 246 с.

## References:

1. Laxton, D. (2006), "Practical Model-Based Monetary Policy Analysis — A How-To Guide", IMF Working Paper, vol. 06/81, available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2006/wp0681.pdf> (Accessed 23 Nov 2020).

2. Fisher, S. and Hahn, F. (1990), "Chapter 21 Rules Versus Discretion In Monetary Policy", Handbook of Monetary Economics, vol. 2, pp. 1155—1184, available at: [https://doi.org/10.1016/S1573-4498\(05\)80028-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4498(05)80028-1) (Accessed 23 Nov 2020).

3. Hayashi, F. (1982), "Tobin's marginal Q and average Q: A neoclassical interpretation", *Econometrica*, vol. 50, pp. 213—224.

4. Smets, F. and Wouters, R. (2007), "Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach", *American Economic Review*, vol. 97, pp. 586—606.

5. Ravnik, R. (2011), "The use of SVAR analysis in determining the effects of scal shocks in Croatia", *Financial Theory and Practice*, vol. 35 (1), pp. 25—58, available at: [https://www.researchgate.net/publication/227448259\\_The\\_use\\_of\\_SVAR](https://www.researchgate.net/publication/227448259_The_use_of_SVAR) (Accessed 25 Nov 2020).

6. Blanchard, O. (2016), "Do DSGE Models Have a Future?", *Policy Brief*, pp. 16—19, available at: <https://www.piie.com/publications/policy-briefs/do-dsge-models-have-future> (Accessed 28 Nov 2020).

7. Sbordone, A.M. Tambalotti, A. Rao, K. and Walsh, K. (2010), "Policy Analysis Using DSGE Models: An Introduction", *FRBNY Economic Policy Review*, pp. 23—43, available at: <https://www.newyorkfed.org/medialibrary/media/research/epr/10v16n2/1010sbor.pdf> (Accessed 28 Nov 2020).

8. Timmermann, A. (2013), "Chapter 2 — DSGE Model-Based Forecasting", *Handbook of Economic Forecasting*, vol. 2, Part A, pp. 2—688.

9. Rochelle, M.E. and Refet, S.G. (2011), "How useful are estimated DSGE model forecasts?", *Finance and Economics Discussion Series*, vol. 2011-11, Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.), available at: <https://www.federalreserve.gov/pubs/feds/2011/201111/201111pap.pdf> (Accessed 23 Nov 2020).

10. Christoffel, K. Coenen, G. and Warne, A. (2010), "Forecasting with DSGE Models. European Central Bank", Working paper series, available at: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1185.pdf> (Accessed 25 Nov 2020).

11. Amarasekara, Ch. Anand, R. Ehelepola, K. Ekanayake, H. Jayawickrema, V. Jegajeevan, S. Kober, C. Nugawela, Th. Plotnikov, S. Remo, A. Venuganan, P. and Yatigammana, R. (2018), "An Open Economy Quarterly Projection Model for Sri Lanka", IMF Working Paper, vol. 18/149, available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/06/25/An-Open-Economy-Quarterly-Projection-Model-for-Sri-Lanka-45984> (Accessed 26 Nov 2020).

12. Harrison, R. and Oomen, O. (2010), "Evaluating and estimating a DSGE model for the United Kingdom", Working Paper, vol. 380, available at: <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2010/evaluating-and-estimating-a-dsge-model-for-the-uk.pdf> (Accessed 23 Nov 2020).

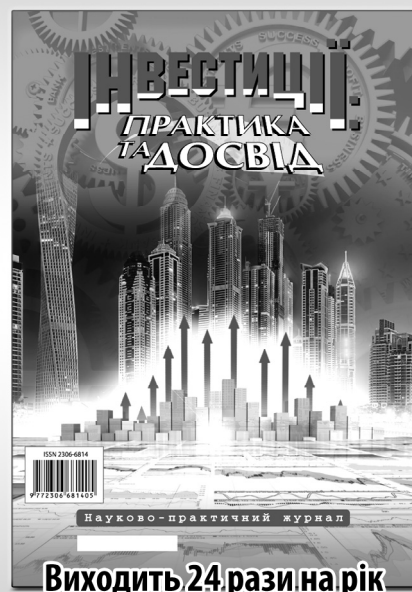
13. Grui, A. and Vdovychenko, A. (2019), "Quarterly Projection Model for Ukraine NBU", National Bank of Ukraine Working Papers, vol. 3, available at: [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/WP\\_2019\\_03\\_Grui\\_Vdovychenko.pdf](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/WP_2019_03_Grui_Vdovychenko.pdf) (Accessed 27 Nov 2020).

14. Lukianenko, I.H. and Semko, R.B. (2015), *Динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги: Теорія побудови та практика використання у фінансових дослідженнях* [Dynamic stochastic models of general equilibrium: Construction theory and practice in financial research], *NaUKMA*, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 28.01.2021 р.

## ІНВЕСТИЦІЇ. ПРАКТИКА ТА ДОСВІД

[www.investplan.com.ua](http://www.investplan.com.ua)



Передплатний індекс: 23892

Журнал включено до переліку наукових фахових видань України (Категорія «Б») з

**ЕКОНОМІЧНИХ НАУК та ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ**

(Наказ Міністерства освіти і науки України № 886 від 02.07.2020)

Спеціальності - 051, 071, 072, 073, 075, 076, 281, 292