

**АНАЛІЗ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ  
МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВИКОНАННЯ  
ДЕРЖАВНОГО БЮДЖЕТУ ТА МАКРОЕКОНОМІЧНИХ  
ПОКАЗНИКІВ**

**АНАЛИЗ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПОЛНЕНИЯ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТА И МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**ANALYSIS OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL TOOLS FOR MODELING  
AND FORECASTING INDICATORS OF INDICATORS OF THE STATE BUDGET  
EXECUTION AND MACROECONOMIC INDICATORS**

*У статті аналізується сучасний економіко-математичний апарат для моделювання і прогнозування показників виконання державного бюджету та макроекономічних показників країни. Безпосередньо розглядаються і порівнюються економетричні методи, що досить поширені у практиці моделювання та прогнозування фінансово-господарської діяльності; нормативно балансові методи (модель міжгалузевого балансу); експертні системи, серед яких можна виділити системи на базі нечіткої логіки; штучні нейронні мережі; імітаційні моделі (метод Монте-Карло, системно-динамічне моделювання); моделі загальної економічної рівноваги. На основі проведеного дослідження виділено переваги та недоліки методів, що застосовуються в цій сфері, та сформульовано ряд пропозицій щодо їх імплементації в економіці України.*

**Ключові слова:** показники виконання державного бюджету, економіко-математичні моделі, моніторинг, прогнозування, макроекономічні показники, економічний розвиток.

*В статье анализируется современный экономико-математический аппарат для моделирования и прогнозирования показателей выполнения государственного бюджета и макроекономических показателей страны. Непосредственно рассматриваются и сравниваются эконометрические методы, которые достаточно популярны в практике моделирования и прогнозирования финансово-хозяйственной деятельности; нормативно-балансовые (модель межотраслевого баланса); экспертные системы, среди которых можно выделить системы на базе нечеткой логики; искусственные нейронные сети; имитационные модели (метод Монте-Карло, системно-динамическое моделирование); модели общего экономического равновесия. На основе проведенного исследования выделены преимущества и недостатки методов, которые применяются в этой сфере, и сформулирован ряд предложений по их имплементации в экономике Украины.*

**Ключевые слова:** показатели выполнения государственного бюджета, экономико-математические модели, мониторинг, прогнозирование, макроекономические показатели, экономическое развитие.

*This article describes the existing economic and mathematical tools for budget execution modeling and forecasting and macroeconomic indicators. Also it gives a possibility to draw out alternative scenarios of the state budget performance and macroeconomic indicators of dynamics. Directly examined and compared econometric methods that are common in the practice of modeling and forecasting financial activities; regulatory balance (input-output model); expert systems, among which are systems based on fuzzy logic; artificial neural network; simulations (Monte Carlo, system-dynamic modeling); model of general economic equilibrium. These economic-mathematical methods could be used for the monitoring of Ukraine state budget and analysis of the statistical indicators, and their values` forecasting.*

**Key words:** performance indicators of the state budget, economic and mathematical models, monitoring, forecasting, macroeconomic indicators, economic development.

**Вступ.** Державний сектор економіки сприяє організованості суспільства, забезпечує його цілісність, узгоджує соціальні інтереси. В першу чергу це досягається через систему заходів законодавчого, виконавчого і контрольного характеру по стабілізації та пристосуванню економіки до умов, що змінюються під впливом внутрішнього та глобального середовища. Слід зазначити, що в такому разі важливим фактором регулювання соціально-економічного розвитку держави є її бюджетна політика.

Стратегічною метою бюджетної політики є створення економічних, правових та організаційних засад щодо підвищення ролі бюджету як інструменту формування і оптимального розподілу фінансових ресурсів між ланками бюджетної системи. Основними ж завданнями функціонування бюджетної системи держави є забезпечення економічного зростання України та підвищення рівня життя населення [1].

Саме від стану економічного розвитку держави залежить ефективність реалізації всіх її функцій, адже економічний розвиток розглядається як розширене відтворення та поступові якісні і структурні позитивні зміни економіки, продуктивних сил, факторів росту і розвитку, освіти, науки, культури, рівня і якості життя населення, людського капіталу.

Серед показників, які описують економічний розвиток країни виділяють наступні: якість життя населення, конкурентоспроможність економіки, валовий внутрішній продукт (ВВП), валовий національний продукт (ВНП), людський капітал на душу населення і індекс економічної свободи.

Таким чином, керівникам вищих рангів державних органів, для прийняття своєчасних, обґрунтованих, ефективних управлінських рішень щодо розробки, розгляду, затвердження та внесення змін до державного бюджету України та державних цільових програм, необхідна, достовірна, якісна та актуальна інформація про стан виконання державного бюджету України. Це забезпечується через аналіз макроекономічних показників, що обумовлює необхідність створення цілісної системи збирання, оброблення, передачі, зберігання, аналізу, візуалізації і документування статистичної

інформації з метою оцінювання, діагностики, моделювання та оперативного прогнозування бюджетного процесу.

Питання формування системи показників для аналізу соціально-економічних явищ, законодавчого та інформаційного забезпечення контролю за формуванням і розподілом фінансових ресурсів держави розглядаються в працях В. Гейця [4], О. Кириченка [5], Ц Огонь [7] та інших вчених. До фундаментальних робіт в області прогнозування макроекономічних показників, які згодом поклали початок окремим напрямкам в макроекономічній теорії, можна віднести роботи А. Сміта, А. Маршала, К. Маркса, Л. Вальраса, Д. Кейнса. Прикладні аспекти макромодельовання викладені в роботах В. Леонт'єва, Д. Шовена і Д. Уеллі, К. Ерроу і Ж. Дебре, П.Діксона, Л. Клейна, В. Макарова, Г. Клейнера та інших.

Але, незважаючи на довготривале вивчення цих питань, вони залишаються актуальними, особливо в умовах складнопрогнозованої економіки.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз економіко-математичного апарату моделювання і прогнозування показників виконання державного бюджету України та макроекономічних показників для застосування відповідних методів та моделей в системі моніторингу виконання державного бюджету України, а також, оцінки ефективності проведення економічної політики держави.

**Методологія.** Теоретичною та методологічною основою статті є роботи вітчизняних і зарубіжних вчених в галузі економіко-математичного моделювання та прогнозування макроекономічних показників, показників фінансово-господарської діяльності. У роботі використовувались загальнонаукові та спеціальні методи дослідження економічних процесів і явищ. Із загальнонаукових методів застосовано: абстрактно-теоретичний, діалектичний, аналізу і синтезу.

**Результати дослідження.** На основі аналізу літератури з проблематики макроекономічного моделювання і прогнозування були виділені наступні основні класи методів, які застосовуються до показників національної економіки:

- економетричні методи, що включають в себе аналіз часових рядів, екстраполяційні моделі, кореляційно-регресійний аналіз;
- нормативно-балансові методи, в першу чергу, різновиди моделі «витрати-випуск» В. Леонт'єва;
- експертні системи, в тому числі і системи на основі нечіткої логіки та методи когнітивного моделювання;
- штучні нейронні мережі;
- імітаційне моделювання, що включає в себе метод Монте-Карло, системно-динамічний аналіз, агентного моделювання;
- моделі загальної економічної рівноваги.

Економетричні методи широко використовуються для побудови прогнозних макроекономічних моделей. Однією з перших детальних макроекономічних моделей, побудованої з використанням економетричного апарату, є Бруклінська модель США, побудована під керівництвом Нобелівського лауреата Л. Клейна [9]. Також слід відзначити проект LINK, інтегруючий економетричні моделі багатьох країн світу. Прогнози, отримані за допомогою модельного комплексу LINK, дозволяють оцінити міжнародні товарні, фінансові потоки і оцінити вплив одних країн на інші.

Економетричні методи можна розділити на дві підгрупи: екстраполяційні та факторні методи. До першої підгрупи належать трендові моделі, модель Бокса-Дженкінса, експоненціальне згладжування та ін. Моделі даного класу екстраполюють тимчасові ряди, вони застосовні на короткостроковій перспективі в умовах стабільно функціонуючої соціально-економічної системи. У середньостроковій і довгостроковій перспективі вони неефективні.

До факторних методів належать регресійні моделі. Ці моделі є більш достовірними в довгостроковій перспективі, оскільки для прогнозування використовуються не тільки історичні дані прогнозованого показника, але враховуються і зовнішні фактори, що впливають на модельований показник. Однак і факторні моделі в деякому сенсі є екстраполяційними – вони екстраполюють зв'язок між соціально-економічними показниками. Головним недоліком економетричного підходу є його екстраполяційна природа: даний підхід перекладає ретроспективні тенденції та (або) залежності на майбутні періоди, не враховуючи, що в майбутньому можуть відбутися структурні зміни. Крім того, економетричні моделі є чутливими до глибини ретроспективних даних, що в окремих випадках може слугувати обмеженнями при використанні економетричних методів.

Завдяки відносній простоті опису моделі, чіткості взаємозв'язків екзогенних, ендогенних змінних та простоті реалізації розрахунків, економетричні моделі користуються популярністю при аналізі і прогнозуванні макроекономічних показників та показників виконання бюджету. Проте, дані моделі не дозволяють повною мірою оцінити мультиплікативний ефект від впливу оцінюваного фактору. Тобто, приміром, ціна ресурсу «А» може сильно впливати на витрати в галузі «Б», але, в той же час, ціна продукту галузі «Б» може також впливати на витрати галузі, що виробляє продукт «А». В силу того, що економетричне рівняння не є ітераційною моделлю, яке дозволяє відстежувати обопільний вплив різних галузей, ми не можемо за допомогою цього інструменту простежити результати описаної вище міжгалузевої взаємодії до певної точки логічної зупинки (наприклад, досягнення рівноваги попиту та пропозиції на ринках товарів «А» і «Б»). Тоді, як досягнення поставленої задачі оцінки ефективності проведення економічної політики держави (шляхом моделювання процесу виконання державного бюджету та

прогнозування макроекономічних показників) передбачає цілісний розгляд економічної системи країни з притаманним мультиплікативним ефектом.

В групі нормативно-балансових методів найбільш апробованою моделлю є модель міжгалузевих балансу (більш відома як модель «витрати-випуск»), розроблена американським вченим радянського походження В. Леонт'євим в 1930-х р. Необхідною умовою для нормативно-балансових методів є наявність встановлених нормативів. У моделі міжгалузевих балансу подібні нормативи містяться в матриці коефіцієнтів виробничих витрат. Нормативно-балансові методи прості для чисельного вирішення, оскільки на математичному рівні вони представляють собою систему лінійних рівнянь. З іншого боку, передумова про лінійність описуваних моделлю процесів виглядають нереалістично, тому моделі даного типу є занадто спрощеним уявленням дійсності.

Третя група моделей – експертні системи, які варто застосовувати для отримання якісного результату при відсутності необхідних статистичних даних. Одним напрямком експертних систем є системи на базі нечіткої логіки, в зарубіжній літературі відомі як Fuzzy Logic [6], а також когнітивне моделювання. Апарат нечіткої логіки застосовується в тих випадках, коли неможливо або дуже складно побудувати формалізовану математичну модель, наприклад, зважаючи на велике число параметрів модельованого об'єкта, або нестачі статистичних даних. Моделі на базі нечіткої логіки дозволяють компактно, в термінах предметної області, описати модельований об'єкт. Ключовим моментом створення моделі нечіткої логіки є розробка блоків фазифікація і дефазифікації (перетворення чіткої величини в нечітку і навпаки), а також створення так званої таблиці правил. Процес розробки цих блоків, на відміну від регламентованого процесу розробки економетричних та нормативно-балансових моделей, є нетривіальним завданням, яке в багатьох випадках служить перешкодою для використання моделей на базі нечіткої логіки в макроекономіці та безпосередньо при аналізі та прогнозуванні показників виконання бюджету та факторів впливу на них. Перевага надається методам і моделям що чітко описують взаємозв'язки між змінними моделі.

Апарат когнітивного моделювання використовується в тих випадках, коли відсутня достатня кількість статистичної інформації. Наприклад, для опису разових, неповторних подій чи соціальних явищ. Когнітивний підхід дозволяє якісно описувати взаємозв'язки предметної області на основі залученої експертної інформації.

Штучні нейронні мережі дуже популярний напрям в галузі дослідження штучного інтелекту. Область застосування нейронних мереж велика, вони використовуються як інструмент моделювання на мікрорівні, так і на макрорівні. Штучні нейронні мережі дозволяють описувати складні нелінійні процеси, коли невідомі ні функції, що протікають в системі процесів, ні їх

загальний вигляд. У процесі навчання нейронна мережа сама підбирає функцію, апроксимуючи модельовані процеси. Однак процес створення моделі на базі нейронних мереж (вибір конфігурації мережі, навчання і подальша експлуатація мережі) – трудомістке завдання, яке вимагає індивідуального підходу, що є основним недоліком нейронних мереж. З точки зору користувача, моделі нейронних мереж є «чорним ящиком»: неможливо економічно інтерпретувати і обґрунтувати зв'язки між нейронами, а також проміжні розрахунки всередині мережі. Непрозорість нейронних мереж є ще одним їхнім недоліком.

Імітаційне моделювання – ефективний апарат дослідження стохастичних систем (в тому числі і соціально-економічних систем), коли досліджувана система може бути піддана впливу численних випадкових факторів складної природи. Імітаційні моделі добре підходять для отримання «усереднених» характеристик модельованого процесу в умовах невизначеності, при неповних та неточних даних. До методів імітаційного моделювання відносяться: агентне моделювання, метод Монте-Карло, системно-динамічне моделювання.

Агентне моделювання в імітаційному підході використовується для дослідження децентралізованих систем, динаміка функціонування яких, визначається не глобальними правилами і законами (як в інших парадигмах моделювання), а навпаки, коли ці глобальні правила і закони є результатом індивідуальної активності членів групи. Мета агентних моделей - отримати уявлення про ці глобальних правилах, загальну поведінку системи, виходячи з припущень про індивідуальну, приватну поведінку її окремих активних об'єктів і взаємодії цих об'єктів в системі.

Системно-динамічне моделювання – відносно нова парадигма моделювання, запропонована Джеєм Форрестером в 1950 роках. Для досліджуваної системи будуються графічні діаграми причинних зв'язків і глобальних впливів одних параметрів на інші, в часі, а потім створена на основі цих діаграм модель імітується на комп'ютері. Такий вид моделювання допомагає зрозуміти суть того, що відбувається, виявити причинно-наслідкові зв'язки між об'єктами і явищами, вивчити властивості системи в цілому і оцінити її чутливість до зовнішніх параметрах. За допомогою системної динаміки будують моделі бізнес-процесів, розвитку галузі, виробництва, динаміки популяції і багато іншого.

Метод Монте-Карло – загальна назва групи чисельних методів, заснованих на отриманні великого числа реалізацій випадкового процесу, який формується таким чином, щоб його імовірнісні характеристики співпадали з аналогічними величинами розв'язуваної задачі [9]. Метод заснований на датчику випадкових чисел, що генерує значення, які залежать від розподілу кожної вхідної змінної моделі. На виході для кожного згенерованого вектора вхідних параметрів виходить вектор значень вихідної

змінної. В результаті знаходиться ймовірність потрапляння вихідного показника в певну область, а також мінімальні і максимальні значення.

В цілому, імітаційні моделі дозволяють отримати корисну інформацію про досліджуваній об'єкт і досліджувані процеси в умовах інформаційної невизначеності. Вони особливо корисні для первинного дослідження властивостей модельованого об'єкта, але при наявності знань і повних статистичних даних вони не настільки ефективні.

Моделі загальної економічної рівноваги (МЗЕР або CGE «Computable General Equilibrium» models) використовуються для комплексного опису соціально-економічної системи. В результаті чисельного розрахунку моделі, яка на математичному рівні зводиться до системи нелінійних рівнянь, визначаються параметри модельованої економіки, при якій всі сектори знаходяться в рівноважному стані. Теорія загальної економічної рівноваги застосовна до ринкової економіки, яка прагне до рівноважного стану. У той же час ці моделі непридатні для опису неринкових економічних систем, наприклад, командної економіки. Ключовою особливістю МЗЕР є пошук одночасної рівноваги на взаємопов'язаних ринках при тому, що кожен економічний агент веде себе раціонально, вирішуючи свою локальну цільову функцію (так, наприклад, для агентів реального сектору вирішується цільова функція мінімізації витрат або максимізації прибутку). На відміну від більшості інших розглянутих підходів, теорія загальної економічної рівноваги не використовує передумов про лінійність протікання процесів, а всі використовувані нелінійні залежності економічно обґрунтовані, а також при розробці CGE моделей необов'язково мати всі статистичні дані, оскільки частину з них можна отримати емпіричним шляхом (у процесі калібрування моделі). Інші відмінні переваги моделей цього типу – можливість обліку структурних змін в досліджуваній економіці та їх адекватність при моделюванні систем з перехідною економікою, для яких властиві різкі спади та підйоми. Проте, МЗЕР не позбавлені недоліків, основним з яких є складність чисельного обчислення моделі, пов'язана з нелінійністю моделі.

На сьогоднішній день, моделі CGE є одним із перспективних інструментів кількісної оцінки діям уряду та активно використовуються закордоном. Це новий напрямок в економіці, що дозволяє знайти підходи до вирішення широкого кола задач до яких безпосередньо відносяться і задачі по державному регулюванню економіки, адже технологія обчислень МЗЕР дозволяє моделювати процес руху до рівноваги та виявити чому система не зрівноважена, і я далеко ще до рівноваги. Ці особливості згаданої моделі розкриваються, по-перше в результаті включення в модель економічних агентів (реальний сектор економіки, домашні господарства, уряд), результати діяльності яких відображаються у всій економічній системі, по-друге, CGE

модель включає в себе систему рівнянь за допомогою вирішення яких досягається рівновага на ринках та видаються кількісні результати.

Таким чином, для моделювання і прогнозування показників виконання державного бюджету України, макроекономічних показників та оцінки ефективності проведення економічної політики держави актуально та доцільно зосередити свою увагу на застосуванні сучасних моделей загальної економічної рівноваги.

Для досягнення поставлених цілей вирішено застосовувати CGE модель принаймні з трьома агентами (економічні суб'єкти), які характеризуються відповідними правилами поведінки:

- сукупний споживач, його мотивація – це прагнення до максимізації цільової функції споживання в умовах бюджетного обмеження;
- сукупний виробник – прагне до максимізації валового прибутку, в умовах створеного попиту і при бюджетному обмеженні;
- держава – прагне до максимізації власної функції переваги.

В якості вхідної бази даних будемо використовувати матриці фінансових потоків (Social Accounting Matrix або SAM), які відображають наскрізний рух фінансових ресурсів, від формування доходів до їх кінцевого використання. Зі статистичної точки зору вони являють собою з'єднання в єдину розгорнуту систему:

- зведених національних рахунків - товарів і послуг, виробництва, створення доходів, використання доходів, операцій з капіталом;
- рахунків доходів і витрат економічних агентів (секторів економіки);
- фінансового рахунку (балансу фінансових активів і пасивів фінансових установ, насамперед банківської системи, і сектора «зовнішній світ»).

**Висновки.** Слід зазначити, що при розробці комплексних соціально-економічних макромоделей можна використовувати не один, а кілька представлених підходів. Наприклад, включивши регресійні рівняння до складу CGE моделей, для статистичної оцінки еластичності зміни часток бюджету агентів, або часток розподілення готового продукту за напрямками використання, можна покращити специфікацію відповідних рівнянь. Також, економетричні моделі можуть бути використані для процедури калібрації моделей загальної економічної рівноваги. Саме синтез різних підходів дозволяє побудувати якісні та адекватні реальному об'єкту моделі.

Проведений аналіз підходів до моделювання та прогнозування показників виконання державного бюджету, макроекономічних показників, а також оцінки ефективності проведення економічної політики держави, найбільш придатними для застосування є економетричні методи, моделі нейронних мереж та МЗЕР. При цьому, варто відзначити, що новітні моделі загальної економічної рівноваги мають ряд переваг, а саме: на відміну від штучних



нейронних мереж, всі використовувані в моделі залежності є економічно обґрунтованими (CGE є абсолютно прозорою моделлю); у порівнянні з економетричним апаратом, МЗЕР дозволяють враховувати структурні зміни в економіці, крім того, вони не так чутливі до глибини ретроспективних даних.

### Література:

1. Закон України “Бюджетний кодекс України” // Відомості Верховної Ради України. – 2010. – №50-51. – 572 с.
2. Науково-практичний коментар до бюджетного кодексу України / [М.Я. Азаров, В.А. Копилов, Л.К. Ворона та ін.]; під загальною редакцією М.Я. Азарова. – К.: НДФІ, 2006. – 632с.
3. Багриновский К.А. Имитационные системы в планировании экономических объектов / К.А. Багриновский, Н.Е. Егорова. М.: Наука, 1980. -237 с.
4. Геєць В. М. Суспільство, держава, економіка: феноменологія взаємодії та розвитку/ Валерій Михайлович Геєць ; НАН України ; Ін-т екон. та прогнозув. НАН України. — К., 2009. — 864 с Стігліц, Джозеф Е. Економіка державного сектора/Пер. з англ. А.Олійник, Р.Скільський.– К.:Основи, 1998.– 854 с.
5. Кириченко О. Державний бюджет як дзеркало соціально-економічних та політичних проблем України / О. Кириченко // Економічний Часопис- XXI. – 2008. – № 9-10. – с. 18
6. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети./ В.В. Круглов и др./ Физматлит, 2001 – с.221.
7. Леонтьев В. Межотраслевая экономика / Научный редактор и автор предисловия академик РАН А.Г. Гранберг; Пер. с англ. — М.: Экономика, 1997.– 480с.
8. Огонь Ц. Г. Програмно-цільовий метод та ефективність бюджетних програм / Ц. Г. Огонь // Фінанси України - 2009. - № 7. – С 20-29.
9. Чугунов І. Я. Фінансово-економічне прогнозування і планування /І. Я. Чугунов, Т.Г. Затонацька, А. В. Ставицький. — К. : Поліграф-Консалтинг, 2007. — 312 с.