

Ю. А. Олександренко,  
м. н. с., ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України", м. Київ

## ОСОБЛИВОСТІ ПІДХОДІВ ПРИ РОЗРОБЦІ СИСТЕМНИХ МОДЕЛЕЙ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННІ У ДЕРЖАВНОМУ УПРАВЛІННІ

Yu. Oleksandrenko,  
junior researcher, State Institution "Institute for Economics and Forecasting,  
Ukrainian National Academy of Sciences", Kyiv

### DISTINCTIVE FEATURES OF THE SYSTEM MODELS DEVELOPMENT AND PUBLIC ADMINISTRATION APPLICATION APPROACHES

**Розглянуто питання, що пов'язані з проблемами та етапами розвитку системного моделювання в контексті їх використання в системі державного управління. Акцентовано увагу на проблемах розробки та використання моделей великих складних систем та необхідності вдосконалення організаційних умов як основного напрямку підвищення ефективності використання системних моделей. Зокрема інтеграції моделей у систему управління при тісній взаємодії осіб, що приймають рішення, та колективу розробників для врахування впливу політичних рішень на результати розрахунків. Зважаючи на визначальну роль суб'єктивного фактору при створенні та використанні моделей, обґрунтовано необхідність забезпечення стійких у часі колективів розробників. Розглянуто підходи до реалізації моделей великих складних систем за допомогою спеціалізованих програмних засобів, так званих генераторів моделей та за допомогою загальних мов програмування.**

**This article deals with the issue of system modeling development stages and problems in the context of their application in public administration. Analysis is focused on the issues of complex systems' models development and utilization as well as the necessity of organizational conditions improvement as a key direction of system models efficiency increase. In particular, much consideration is given to the issue of model integration into the management system in the context of decision makers and tools' developers close collaboration in order to account for the policy decisions effect on the modeling results. Given the crucial role of the subjective factor in the model development and application process, the necessity of developers' team stability maintenance is justified. Different approaches to the complex system models implementation using special software, model generators and common programming languages are analyzed.**

*Ключові слова:* системне моделювання, велика складна система, макроекономічна модель, структурна модель, державне управління.

*Key words:* system modeling, large complex system, macroeconomic model, structural model, governance system.

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Траєкторія економічного розвитку України далека від оптимальної, що пояснюється не стільки об'єктивною складністю переходу до розвинутої ринкової економіки в умовах нестабільної зовнішньоекономічної кон'юнктури, скільки відсутністю ефективної системи управління, чітких стратегічних цілей та критеріїв їх поетапного досягнення. Одна з необхідних умов ефективної діяльності систем управління в сучасних умовах — наявність аналітичних систем підтримки прийняття рішень для моніторингу показників розвитку, оперативного управління та стратегічного планування. Їх застосування необхідне в першу чергу для управління об'єктами зі складною структурою, високою динамічністю розвитку та великою кількістю складових елементів. Безсумнівно, що таким інструментом є економіко-математичне моделювання, яке є практично незамінним засобом дослідження функціонування або порушення функціонування сучасної еко-

номіки, пошуку потенціальних і фактичних джерел таких порушень та визначення шляхів та засобів їх ліквідації [1], а питання вдосконалення методів моделювання, підходів до розробки аналітичних інструментів та їх застосування в органах управління, незважаючи на численні дослідження і напрацювання, залишатимуться актуальними та змінюватимуться разом з розвитком об'єкта управління — економічної системи.

#### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У контексті державного управління особливе місце займають моделі, що дозволяють прогнозувати макроекономічні показники та переважно ґрунтуються на економетричних методах [2] та, зокрема, структурні моделі [3]. Інший важливий напрям — моделі, що комплексно охоплюють національну економіку, та дозволяють оцінювати вплив зміни однієї складової на решту частин еко-

номіки, які зазвичай своїм ядром мають таблиці "витрати — випуск" (ТВВ) та ґрунтуються на моделях Леонтьєва [4]. З середини двадцятого століття проводяться дослідження щодо розширення моделей на основі ТВВ до комплексних макроекономічних моделей. Особливість таких моделей полягає у ендогенізації частини кінцевого споживання, які екзогенні у статичній моделі Леонтьєва, і моделюванні компонентів попиту, що залежать від цін.

Моделі на основі ТВВ особливо широкого розповсюдженні у форматі так званих прикладних моделей загальної рівноваги (ПЗР — CGE), першою з яких вважається розробка Йохансена 1960 року для економіки Норвегії, яка була досить ефективною для розробки політики економічного зростання. Незважаючи на широке розповсюдження та численні дослідження за допомогою цього інструменту, ПЗР моделі піддаються обґрунтованій критиці, включаючи досить радикальні — "теоретичні основи CGE-моделювання не адекватні реальному світу" [4, с. 5]. Зокрема, досить суттєві зауваження викликають методи оцінки параметрів при калібруванні, велика залежність моделі від обраного базового року, обмеженість вибору функціональних форм і т.д.

Вибір математичних методів чи методології за однієї і тієї ж управлінської задачі для відображення модельованого об'єкту, в разі, якщо цей об'єкт велика складна система така, як національна економіка, неоднозначний та дискусійний. Більш того, навіть обравши найкращі методології та методи моделювання, через невизначеність та неповноту інформації, залишаються досить багато питань як на етапі розробки моделі, так і на етапі прийняття рішень на основі результатів розрахунків, які не дозволяють приймати об'єктивні рішення керуючись строгими формальними критеріями та вимагають суб'єктивізму як від розробників, так і осіб, що приймають рішення на основі наданих модельних розрахунків. Тому, на нашу думку, підвищення ефективності системного моделювання на даному етапі його розвитку в умовах України слід шукати не стільки у вдосконаленні математичних методів, скільки в організаційних площинах — розробки інструментарію та використання результатів розрахунків.

## ЦІЛІ СТАТТІ

Розглянути питання, які виникають при моделюванні великих складних систем таких, як національна економіка чи її галузь, та підходів до їх вирішення, пов'язаних з підвищенням ефективності моделювання та мінімізацією ризиків при прийнятті рішень на основі модельних розрахунків. На нашу думку, необхідно зосередити увагу на питаннях, які лежать за рамками строгої математичної теорії та формалізації, проте, постають при розробці системних моделей та моделей великих складних систем, при виборі варіантів використання моделей, інтерпретації результатів моделювання та прийняття рішень на їхній основі в умовах посилення невизначеності, непрогнозованості, волатильності, високої залежності економічної динаміки від політичних рішень і т.д. Акцентувати увагу на визначальній ролі суб'єктивного фактору у моделюванні.

## ОБґРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Потреби модельних досліджень, зокрема, необхідність у більш детальному представленні складових економіки, обумовили розвиток такого напрямку, як системне моделювання. Методологія системного моделювання економіки за визначенням [5, с. 3], передбачає розглядати національне господарство "не як однорідний об'єкт (як прийнято у макроекономічному моделюванні), а як багаторівневу і багатоаспектну систему, найважливіші елементи якої, а також економічні та господарські зв'язки, які їх зв'язують, характеризуються особливими математичними моделями. Інакше кажучи, інтегруючим

інструментом дослідження є система моделей". Тобто, предмет системного моделювання — це великі складні системи, для відображення яких, через складність зв'язків та велику кількість складових елементів досліджуваних об'єктів, необхідно використовувати не єдину однорідну модель, а комплекси або системи моделей. Так, у контексті методології системного підходу такі галузі економіки України, як сільське господарство, металургія чи ПЕК, з одного боку, є складовою частиною національної економіки, тобто мають входити окремими модулями у систему моделей, а з іншого — як великі складні системи самі мають бути представлені системами моделей.

У загальному випадку процес моделювання включає наступні кроки: постановка проблеми, аналіз об'єкта, розробка знакової та комп'ютерної моделі, модельний експеримент, аналіз результатів та підготовка висновків для прийняття рішень на їхній основі. Проте для системного моделювання секторів чи національного господарства в цілому доцільно додатково виокремити розробку методик моделювання, спеціалізованих програмних засобів для реалізації моделей, засобів для представлення результатів моделювання та організацію включення моделей або результатів моделювання у процес прийняття рішень органами державного управління. Необхідність додаткових етапів обумовлена саме розмірністю та складністю об'єктів моделювання та, відповідно, обсягами отриманих результатів.

У практиці управління перед особами, що приймають рішення, виникають задачі, ефективно вирішення яких неможливе без використання моделей. Практика свідчить, що при моделюванні необхідно суміщати моделі з відповідними організаційними умовами, потрібно забезпечити чітку орієнтацію подібних моделей на структуру органів управління, на права та обов'язки окремих груп співробітників, без чого складно забезпечити реальне використання моделей [6]. Цим зумовлена необхідність детально дослідити не тільки економічну систему та її підсистеми як об'єкт моделювання, а також систему управління та задачі, які виникають у конкретних осіб, що приймають рішення, на різних рівнях ієрархії управління та на всіх етапах планування. Таким чином, етап пов'язаний з інтеграцією моделі з системою управління, крім іншого, сприятиме вирішенню проблеми невизначеності при прийнятті рішень, полегшить розробку наборів для сценарного моделювання тощо.

Акценти досліджень у галузі системного моделювання постійно зміщуються в залежності від етапу розвитку даного напрямку. В 60—70-х роках застосування економіко-математичних моделей, які використовувались при дослідженні економічних систем, було обмежене можливостями інформаційно-обчислювальної техніки та програмного забезпечення. Актуальними були зменшення розмірності та спрощення структури моделей відповідно наявним обчислювальним потужностям, ставились задачі розробки обчислювальних алгоритмів для кожного конкретного випадку прикладної реалізації, і т.д. Крім того, на той період робота з моделлю значно ускладнювалась необхідним посередництвом спеціалістів по програмуванню. Таким чином, виникла необхідність розробки спеціалізованих програмних інструментів.

З середини 70-х років почалися роботи по створенню спеціалізованих мов програмування високого рівня, призначених для побудови структурних моделей економічних систем, так званих алгебраїчних мов програмування (на сьогодні найвідоміші з них: AIMMS, AMPL, APMonitor, ASCEND, GAMS). Подібні інструменти призначені для розробки лінійних, нелінійних, цілочисельних та змішаних типів складних комплексних оптимізаційних моделей математичного програмування великої розмірності. Моделі, побудовані в цих системах, представляються алгебраїчними виразами, які відносно зручні для роботи дослідника.

Такі програмні продукти використовуються при моделюванні і в Україні. Зокрема у 2007 році ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" реалізував системну модель ПЕК "TIMES-Україна" [7] з перспективою подальшої інтеграції з макроекономічним модулем — обчислювальною моделлю загальної рівноваги. Також опубліковано численні дослідження співробітників української незалежної дослідницької організації "Інституту економічних досліджень та політичних консультацій", що ґрунтуються на результатах моделювання за допомогою прикладної моделі загальної рівноваги, реалізованій у середовищі MPSGE/GAMS [8].

Незалежно від проблем моделювання були розроблені засоби візуалізації, наприкінці 70-х років — системи управління базами даних та електронні таблиці, що також полегшувало роботи по розробці моделей та представлення результатів моделювання. Таким чином, з кінця 70-х років акценти досліджень у галузі прикладного моделювання економічних систем почали зміщуватись з технічних обмежень на змістовні проблеми моделювання: визначення суттєвих елементів, зв'язків та процесів досліджуваних об'єктів, вибір відповідних форм їх представлення у моделях, способи формалізації та рівні агрегації, тобто на адекватне якнайповніше представлення досліджуваних об'єктів.

Деякі технічні проблеми системного моделювання розв'язувались з розвитком обчислювальної техніки і програмного забезпечення незалежно від проблем моделювання. Проте ставились якісно нові задачі та специфічні вимоги до програмного забезпечення, притаманні виключно моделюванню соціально-економічних процесів. Одна з актуальних задач — розробка так званих генераторів моделей (систем моделювання) для окремих секторів, зрізів, підсистем економіки. Генератори моделей втілюють у собі спільні етапи моделювання, що об'єктивно обумовлено подібністю компонентів об'єктів моделювання, проблем та задач, які ставляться перед дослідниками. Використання генераторів в значній мірі зменшує трудозатрати, що дозволяє розробити потужний аналітичний інструмент ширшому колу дослідників і, таким чином, охопити більшу кількість задач. Наприклад, широко використовуються генератори моделей при моделюванні енергетичних систем. Найбільш відомі з них TIMES та MARKAL розроблені ETSAP (Energy Technology System Analysis Program) Міжнародного енергетичного агентства (IEA).

Генератор моделей являє собою програмну реалізацію певної методології та набору методів моделювання визначеного типу об'єктів, тобто в деякому сенсі генератор моделей це мета-модель. Проте генератори моделей не є простими шаблонами для механічного заповнення даними. Наповнення генератора моделей даними, що описують реальний об'єкт, та виконання всіх інших процедур, передбачених методикою, є необхідними елементами моделювання, але недостатніми в тому сенсі, що побудова формальної конструкції за допомогою генератора не гарантує її адекватності реальному об'єкту з притаманними йому властивостями та аналогічними характеристиками внутрішніх процесів. Генератори моделей це інструменти, які значно спрощують рутинну роботу, допомагають організувати великі обсяги даних, проте, вони не зменшують суб'єктивну роль людини, не виключають творчу частину роботи спеціалістів по моделюванню та експертів у предметній області, що виникає через специфічні характеристики конкретного об'єкту та середовища. Зокрема, при використанні генераторів моделей основна проблема полягає у визначенні множини складових елементів та структури зв'язків досліджуваної системи. В деяких випадках накладаються обмеження вибору елементів та типів зв'язків (опціональність) відповідно реалізованої методології. Окремі генератори мають відкритий програмний код, тобто дозволяється модифі-

кувати даний генератор, змінюючи закладену методологію. Проте використання будь-якого генератора вимагає тривалого навчання роботі з ним, що обумовлено як складністю реалізованої методології моделювання, так і недосконалістю інтерфейсу.

Для процесу системного моделювання, у якому використовуються різні програмні засоби, актуальні проблеми організації взаємодії між користувачами та програмними засобами (інтерфейс). Інтерфейс програмних засобів для системного моделювання відіграє особливу роль через велику кількість складових елементів об'єктів моделювання, тобто, кількість елементів об'єкту моделювання ставить особливі якісні вимоги до інтерфейсу програмних засобів. При цьому необхідно врахувати, що ставляться принципово різні вимоги до інтерфейсу програмних засобів різних кроків процесу моделювання. Наприклад, при побудові моделі інтерфейс має бути орієнтований на спеціалістів по моделюванню, кібернетиків та математиків; при проведенні сценарних модельних розрахунків — на спеціалістів у предметній області, економістів, інженерів і т.д.; при представленні результатів обчислень — на осіб, що приймають рішення та не брали участі у розробці моделі.

Існують численні публікації з загальними рекомендаціями щодо проектування інтерфейсу, в яких вказується на визначальну роль суб'єктивної оцінки розробника. Тому пошук методів та варіантів вдосконалення інтерфейсу прикладних програмних продуктів, хоча займає значну частину уваги розробників, проте не може вважатись науковим напрямом через відсутність системної організації та недостатню обґрунтованість накопичених знань у цій галузі.

Побудова моделі, навіть при наявності відповідної методики, не виключає елементів творчого пошуку розв'язків специфічних проблем, які виникають через індивідуальні особливості притаманні конкретному об'єкту моделювання. Тому у моделюванні основну роль відіграє суб'єктивний фактор — дослідник, який буде модель. Проте у випадку системного моделювання економічних процесів, коли об'єкт необхідно представити за допомогою системи моделей, яку фізично не можливо реалізувати одноосібно, проблема суб'єктивного впливу на порядок ускладнюється, зокрема, необхідністю залучення до роботи численного моделювання економічних процесів з різних предметних галузей і, відповідно, створення організації для їхньої взаємодії. Варто зауважити, що питання організації взаємодії різнопланових спеціалістів розглядаються в межах предмету системного аналізу. Враховуючи роль, яку відіграє у моделюванні суб'єктивний фактор, та необхідність створення колективу дослідників, стає зрозумілим, що неможливо реалізувати якісну, адекватну, практично значущу систему моделей за короткий проміжок часу. Тобто ефективність побудованої системи моделей залежить в значній мірі від часу існування колективу дослідників. Роботи по вдосконаленню початкового варіанту системи моделей тривають неперервно, початковий варіант змінюється відповідно розвитку об'єкту моделювання, а якість системи моделей — зростає разом з досвідом та кваліфікацією колективу дослідників.

Як приклади таких організацій та їхніх досягнень у системному моделюванні можна навести ряд установ, роботи яких широко відомі у світі. Зокрема Міжнародний інститут прикладного та системного аналізу (IIASA) створений у 1972 р., де розроблено моделі та генератори моделей: MEDEE, MESSAGE, IMPACT, MACRO; Інститут систем енергетики ім. Л.О. Мелентьєва СВ РАН, створений у 1960 р., де розроблено систему моделей МЭНЭЖ (Модель Енергетики в Економіке), за допомогою якої отримано численні результати щодо розвитку російської енергетики; Адміністрація енергетичної інформації (EIA, США) — NEMS (Модель національної енергетич-

ної системи), використання якої почалось у 1994 році, результати її обчислень використовуються при публікації Щорічного енергетичного огляду (Annual Energy Outlook).

В Україні реалізовано та використовуються моделі, які в певній мірі можуть вважатись системними, але орієнтовані на вузькі кола задач — енергетичні оптимізаційні моделі, ПЗР та прогнозні макроекономічні моделі. Для розширення спектру задач нами розроблено пілотну версію моделі — в перспективі системної моделі, ядром якої є ТВВ, на разі орієнтовану в першу чергу на задачі оцінювання та прогнозування структурних зрушень в економіці України під впливом зміни зовнішньоекономічної кон'юнктури на галузевих ринках. В аспекті програмної реалізації розробка виконується у середовищі MS VBA Excel. Незважаючи на трудомісткість, такий підхід дозволяє уникнути обмежень спеціалізованих програмних продуктів таких, як GAMS чи GAMS\MPGSE, які в контексті розробки системної моделі не забезпечують необхідної гнучкості для адаптації до поставлених та перспективних задач, що, зокрема, обумовлено строгістю методології та методів реалізації моделей у вказаних середовищах. Вимога гнучкості до модельного інструментарію може бути забезпечена тільки однією із "загальних" мов програмування, а інтегрованість з електронними таблицями та наявність засобів візуалізації обумовили вибір саме MS VBA Excel. Реалізація власних обчислювальних алгоритмів стала додатковою чи навіть основною перевагою в аспекті гнучкості, забезпеченні адекватності інструмента об'єкту та задачам, властивості адаптивності до нових задач. Крім того, реалізація моделі на "загальній" мові програмування та реалізація власних обчислювальних алгоритмів дозволяє забезпечити ефективне поєднання економетричних методів та методів моделей типу "витрати — випуск" під об'єднуючою концепцією імітаційного моделювання.

## ВИСНОВКИ

Незважаючи на значний досвід та інтенсивний розвиток світової науки у галузі системного моделювання соціально-економічних об'єктів, залишаються численні проблеми на етапі прикладної реалізації даної методології. Проблеми притаманні кожному кроку процесу моделювання: від розробки програмного забезпечення до впровадження в органах управління.

В Україні, незважаючи на окремі приклади ефективного практичного застосування на державному рівні, системне моделювання знаходиться на початковому етапі. Подальший розвиток передбачає: поширення технічних засобів системного моделювання, для яких на практиці підтверджено ефективність застосування в інших країнах, створення постійно діючих дослідницьких колективів для більш глибокої предметної роботи та організацій для інтеграції отриманих результатів. Крім того, для таких країн, як Україна, де під впливом політичної ситуації надзвичайно швидко змінюється структура економічної системи та інституційне середовище, надзвичайно актуальним є тісна взаємодія осіб, що приймають рішення на державному рівні, та розробників економіко-математичних моделей. Першим така взаємодія надасть об'єктивне обґрунтування оптимальності вибраного напрямку економічного розвитку, другим — значення екзогенних параметрів моделі, критерії та цілі розвитку економічної системи. Тому необхідно розробити та нормативно закріпити відповідні схеми взаємодії дослідницьких колективів та органів державного управління.

Отже, необхідна не лише розробка системних моделей або систем моделей для комплексного оцінювання, моделювання та стратегічного планування національної економіки, але й інтеграція цих моделей у систему управління при тісній взаємодії осіб, що приймають рішення, та колективу моделювальників (що, зокрема, нівелює не-

визначеність через політичні рішення); зважаючи на визначальну роль суб'єктивного фактору у створенні та використанні структурних моделей, необхідно забезпечити підтримку стійких у часі колективів розробників моделей.

## Література:

1. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика / Леонтьев В.В. — М.: Экономика, 1997. — 479 с.
2. Макроекономічне моделювання та короткострокове прогнозування / [Богдан І.В., Бурлай Т.В., Гончар Н.Ю. та ін.]; під ред. І.В. Крюкової. — Харків: Форт, 2000. — 336 с.
3. Скрипниченко М.І. Секторальні та міжкраїнні моделі економічного розвитку / Скрипниченко М.І. — К.: Фенікс, 2004. — 256 с.
4. Проблемы применения вычислимых моделей общего равновесия для прогнозирования экономической динамики [Электронный ресурс] / Грассини М. // Проблемы прогнозирования — 2009. — № 2. — Режим доступа: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=2009/2/02>
5. Гранберг О.Г. Введение в системное моделирование народного хозяйства / Гранберг О.Г., Суспицин С.А. — Новосибирск: Наука, 1988. — 304 с.
6. Мелентьев Л.А., Оптимизация развития и управления больших систем энергетики / Мелентьев Л.А. — М.: Высшая школа, 1989.
7. Прикладна економіко-математична модель "Times-Україна" для оптимізації енергетичних потоків та прогнозування енергетичного балансу України / В.О. Тоцилін, Р.З. Подолець, О.А. Дячук, Ю.А. Олександренко / Наука та інновації. — 2010. — Т. 6. — № 2. — С. 48—66.
8. Економічний вплив вступу України до СОТ [Електронний ресурс] / Ф. Павел, І. Бураковський, Н. Селіцька, В. Мовчан // Інститут економічних досліджень і політичних консультацій. — Режим доступу: <http://www.ier.com.ua/ua/index.php>

## References:

1. Leont'ev, V.V. (1997), *Mezhotraslevaia ekonomyka* [Interindustry economics], Ekonomyka, Moscow, Russia.
2. Kriuchkova, I.V. (2000), *Макроекономичне modeliuвання та короткострокове prohozuvannya* [Macroeconomic Modeling and Short-Term Forecasting], Fort, Kharkiv, Ukraine.
3. Skrypnychenko, M.I. (2004), *Sektoral'ni ta mizhkrainni modeli ekonomichnoho rozvytku* [Sectoral and inter-country models of economic development], Feniks, Kyiv, Ukraine.
4. Hrassyny, M. (2009), "Problems of using computable general equilibrium models for prediction of economic dynamics", *Problemy prohozyrovannya*, [Online], vol. 2, available at: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=2009/2/02> (Accessed 23 June 2014).
5. Hranberh, O.H. and Suspytsyn, S.A. (1988), *Vvedeniye v systemnoye modelirovaniye narodnoho khoziajstva* [Introduction to system modeling of the economy], Nauka, Novosybyrsk, Russia.
6. Melent'ev, L.A. (1982), *Optymyzatsiya razvytyia y upravleniya bol'shykh system enerhetyky* [Optimizing the development and management of large-scale power systems], 2nd ed, Vysshaya shkola, Moscow, Russia.
7. Tochylin, V.O. Podolets', R.Z. Diachuk, O.A. and Oleksandrenko, Yu.A. (2010), "Application economic-mathematical model "Times-Ukraine" for energy flow optimization and forecasting of energy balances of Ukraine", *Nauka ta innovatsii*, vol. 2, no. 6, pp. 48—66.
8. Pavel, F. Burakovskiy, I. Selits'ka, N. and Movchan, V. (2004), "The economic impact of the accession of Ukraine to the WTO", [Online], available at: [http://www.ier.com.ua/files/publications/WP/2004/WP\\_30\\_ukr.pdf](http://www.ier.com.ua/files/publications/WP/2004/WP_30_ukr.pdf) (Accessed 23 June 2014).

Стаття надійшла до редакції 24.06.2014 р.