

МАКРОЕКОНОМІКА

УДК 336, 338, 339, 519.2

Тетяна Унковська

МАКРОЕКОНОМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Глобальна фінансова криза з драматичною різкістю і безпрецедентними витратами зруйнувала ілюзорне зростання, побудоване на кредитних пірамідах. Як свідчить історія, глобальний ризик таких різких спадів полягає в імовірності запуску ланцюгової реакції наслідків, які в кінцевому підсумку можуть призвести до небезпечних геополітичних зрушень. Одним із кандидатів на роль винуватця втрати контрольованості економічних процесів часто вважають недосконалість методології макроекономічного моделювання і прогнозування. Мета статті – з'ясувати сутність цього питання, осмислити найгостріші проблеми в цій сфері та визначити можливі напрямки їх розв'язання.

Ключові слова: фінансова криза, глобальні ризики, прогнозування, контрольованість економічних процесів, макроекономічне моделювання.

JEL: E6, E37, E47, F37, F47.

Зрештою, через усезагальний зв'язок явищ і мережеві відносини людина стає, так чи так, причетною до всього, що відбувається у світі, і якщо вона може хоч якось вплинути на ті або ті події, то відповідає за них.

Академік О.Александров

Тіньові аспекти моделювання

Істина рідко буває повною і ніколи простою.

Оскар Уайльд

Корисність математичного моделювання для розуміння і прогнозування економічних процесів завжди була предметом суперечок у середовищі економістів. Навіть "фінансовий гуру", колишній голова ФРС Алан Грінспен жартував у кулуарах, що ціннішою є думка фінансового трейдера, а не економіста-математика. При цьому сучасні фінансові трейдери не працюють без комп'ютерних програм і стандартних математичних моделей, які, втім, не рятують їх від катастрофічних утрат. Особливо яскравим прикладом неадекватного застосування математичного моделювання стала гучна історія про скандальний провал хедж-фонду LTCM (Long Term Capital Management), у раді директорів якого працювали два Нобелівські лауреати з економіки – Роберт Мертон і Майрон Шоулз, співавтори відомої математичної моделі Блека-Шоулза-Мертонна. 1998 року фонд зазнав катастрофічних утрат (4,6 млрд дол.), які спричинили кризу цілої мережі фінансових інститутів і рятувальні операції Федерального резервного банку Нью-Йорка обсягом 3,6 млрд дол. Нобелівську премію "За нові методи оцінки вартості деривативів" Р.Мертон і М.Шоулз отримали 1997 року.

Ясно, що такі історії є явищами складнішими, ніж лише неадекватне математичне моделювання і прогнозування. Радше, це поєднання поми-

Тетяна Євгеніївна Унковська (unkovskaya@ukr.net), д-р екон. наук, пров. наук. співр. відділу економічної теорії Державної установи "Інститут економіки та прогнозування НАН України".

© Т.Унковська, 2013

43

лок прогнозування з прихованим переплетінням інституційних причин, проблем морального ризику (*moral hazard*) і надмірного левереджу, конфліктів інтересів і несумлінної поведінки у фінансових структурах і регулювальних органах. Проте це не усуває фундаментальну проблему неадекватного використання математичного моделювання, що, зокрема, показала сучасна глобальна фінансова криза.

Ця криза спричинила гострі міжнародні дискусії та змусила серйозно задуматися про фундаментальні проблеми моделювання і розроблення прогнозів. Ми вбачаємо тут два критично важливі аспекти. Перший, який має моральний та інституційний характер, рідко озвучують в офіційній літературі. Його можна назвати моральним ризиком використання моделювання і прогнозування (*moral hazard of modeling and forecasting*). Другий аспект – методологічний. Він стосується якості існуючих фундаментальних теоретичних засад прогнозування і принципової прогнозованості економічних подій.

Суть першого аспекту проблеми полягає в тому, що математичне моделювання можуть свідомо використовувати не для тієї мети, для якої його створювали, – пошуку істини і глибшого розуміння економічних процесів, а для інших – побічних або "тіньових" цілей. Ці "тіньові" цілі в різних професійних співтовариствах набувають різних форм. У бізнес-середовищі, зокрема серед аналітиків інвестиційних банків, фінансових компаній і рейтингових агенцій, які напередодні кризи здійснювали оцінку ризиків структурованих інструментів, математичне моделювання використовували, за влучним висловом Н.Талеба¹, не для того, щоб нагадувати нам про невизначеність, а для обману, відведення до уявної визначеності через чорний хід.

На рівні державних регуляторів проблема морального ризику використання моделювання набуває ще більшого масштабу і стає критично серйозною. Після початку поточної кризи в академічних колах розвинених країн затвердилася ідея, яку активно експлуатують банкіри і вищі посадові особи державного управління. Вона полягає в тому, що останніми десятиліттями технологічні та фінансові інновації сягнули такого рівня складності, який уже не піддається математичному моделюванню і прогнозуванню, і саме тому вони вийшли з-під контролю регуляторів і призвели до глобальної кризи. Відтак, на їхню думку, ситуацію неможливо взяти під контроль, доки не буде запропоновано абсолютно нових, складніших підходів і методів моделювання економічних процесів. З одного боку, в цій ідеї є раціональне зерно – справді потрібні нові підходи. Проте, з іншого боку, ця ідея містить певні моменти спекуляції та інтелектуальної нечесності. Відомий учений Дідьє Сорнетте пише: "Перш ніж покласти наші надії на суперскладні та супервисокотехнологічні методи, ми повинні пам'ятати про прості істини, які продемонстрували свою цінність у минулому, але були забуті. Академічна й інституційна втрата пам'яті стосується відомої істини про роль банків у створенні кредитних бумів, про переваги певних (утрачених) форм регулювання і критичної ролі центральних банків як борців з надуванням бульбашок (а не їх ініціаторів)"². Добре відомі ідеї економістів австрійської школи і таких мислителів, як Фридрих Хайек і Йозеф Шумпетер, про роль банків у створенні кредитних бульбашок у системі з частковим резервуванням. Уже понад 40 років відома пророцька праця

¹ Нассім Ніколас Талеб – автор книги "Чорний лебідь. Під знаком непередбачуваності" (*The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*, 2007). Чорний лебідь – малоімовірна, неочікувана подія, яка має величезний вплив на подальший розвиток подій.

² *Sornette D., Becke S. von der. Systemic risk in banking: It is complex but not that complicated. A response to Andrew G. Haldane & Robert M. May, Neil Johnson and Thomas Lux // http://www.er.ethz.ch/Systemic_risk_in_banking_it_is_complex_but_not_that_complicated_2.2.2011.pdf.*

Хьюмана Мінські³ і його гіпотеза фінансової нестабільності. Кредитні буми, підтримувані центральними банками за допомоги штучного заниження відсоткових ставок, можуть призводити до дуже неусталених станів – фінансових бульбашок і подальших криз. Ці механізми були відомі й описані в багатьох книгах. Тому існуючі ідеї про непрогнозованість подібних явищ схожі на ідеї для обслуговування певних приватних і групових інтересів. Як пише Д.Сорнетте, втрата пам'яті може бути зумовлена небажанням і навіть опором певних кіл включенню цих відомих механізмів в офіційні прогностичні моделі урядів і центральних банків. Тобто "непрогнозованість" кризи була заздалегідь спроектована, що є яскравим проявом морального ризику використання моделювання.

Надії, які покладають на нові методи моделювання, що забезпечать прорив у мистецтві розроблення прогнозів, мають поєднуватися з довірою до системи регулювання, яка використовує ці прогнози. Сучасні реформи регулювання, покликані узгодити мотивацію великих банків та їх суспільну роль щодо кредитування реальної економіки, спричиняють у світі гострі дискусії. Нещодавно ухвалений у США закон Додда-Френка, який повністю набуде чинності лише 2015 року, уявляється якимось новим проривом у системі регулювання. Проте добре відомим є 50-річний період найбільшої стабільності у фінансовій історії США і Європи, який настав після ухвалення 1932 року закону Гласса-Стігала, що розділив інвестиційні та комерційні банки, страхування і роздрібні банківські операції. З 1980-х років почали лобювати процес дерегулювання, який 1990-го досяг свого апогею – скасування закону Гласса-Стігала і ліквідації перешкод на шляху створення великих банківських монстрів, подібних до "Титаника", які могли втопити всю фінансову систему. Ще 2007 року Нассім Талеб писав: "Виникає надмірна залежність партнерів один від одного, притому, що необхідність і можливість вибору знижується і тим самим створюється видимість стабільності. Інакше кажучи, така ситуація може спричинити появу жажливих Чорних лебедів. Ми раніше ніколи не перебували під загрозою загальносвітового колапсу. Фінансові інститути об'єдналися в невелику кількість величезних банків. Майже всі вони нині є взаємопов'язаними. Фінансова екологія в жахливому стані: продовжують розбухати гігантські, забюрократизовані банки, дітища кровозмісних союзів (що прораховують ризики за гаусіаною) – звалиться один, звалиться і решта. Посилення концентрації в банківському середовищі начебто знижує можливість фінансової кризи, але вже коли кризи зчиняються, вони є важчими й їхніми жертвами стають одразу кілька країн. Ми перейшли від різномасштабних маленьких банків із різною кредитною політикою до гомогенної мережі великих фірм, схожих одна на одну. Так, уклепуємося ми рідше, але вже коли вклепаємося ... брр!"⁴. Такі прогнози були не очевидними лише тим, хто не хотів їх бачити.

Моральному ризику використання моделювання, на жаль, не чужо й наукове економічне співтовариство. Для маститих і авторитетних економістів "тіньовими" цілями можуть бути обслуговування інтересів певних впливових політичних і фінансових кіл, економічні інтереси, небажання змін і відповідальності за "незручні" прогнози. Для вчених-початківців таким "тіньовим" завданням, що втілює в собі моральні ризики, є просування кар'єрними сходами за допомоги публікацій математизованих наукоподібних текстів, які не дають приросту знань, а просто задовольняють формальним критеріям наукової бюрократії. І методологія моделювання в цьому не винна – адже нам не спадає на думку звинувачувати скальпель, якщо хірург погано оперує.

Так, вузькопрагматичні "колективні зусилля" і стадна поведінка створюють потужну течію, що руйнує репутацію економічної науки, підстьобує

³ Minsky H. Stabilizing an Unstable Economy. N-Y, McGraw-Hill Professional, 1986.

⁴ Талеб Н.Н. Чёрный лебедь. Под знаком непредсказуемости. – М, 2008. – С. 123.

девальвацію економічних знань та їх втрату, зокрема в математичній формі, які були здобуті прекрасними мислителями минулого, дивовижними людьми, що присвятили свою долю проясненню економічної картини світу.

У викривальній дискусії автор статті "Мапа – не територія: про стан економічної науки", професор Лондонської школи економіки Дж.Кей пише: "Репутація економічної науки й економістів, і так не дуже висока, ще більше постраждала внаслідок кризи 2008 року. Королева Великої Британії була не єдиною, хто цікавився, чому ніхто її не передбачив. Ще серйозніше звинувачення стосується того, що дискусії в галузі економічної політики, що сталися за кризою, лише повторюють схожі обговорення після Великої депресії 1929 року"⁵. У цих звинуваченнях, що поширилися після початку кризи, помилково змішуються дві різні категорії. Одна з них – досягнутий рівень розуміння світу економічною наукою загалом, інша – передбачувальна сила тієї частини економічної теорії та тих інструментів, які використовують органи регулювання за здійснення економічної політики. Слід констатувати факт – ту частину економічної науки, для якої криза була очевидною, органи регулювання не використовували. Більше за те, інституційні протитрути фінансовим кризам, вироблені в 1930-х роках після Великої депресії, через півстоліття було відкинуто.

Головна тенденція, яка домінує зараз у процесі реформ, – це ускладнення системи регулювання без зміни її принципових підходів. Користуючись простим критерієм, можна порівняти відповідні антикризові дії у сфері регулювання в США після Великої депресії 1929 року і сьогодні. Найпотужнішою законодавчою відповіддю на Велику депресію був уже згадуваний закон Гласса-Стігала, що змінив архітектуру і правила гри на фінансових ринках. Недарма його називають найвпливовішим законом ХХ століття. Обсяг його склав 37 сторінок. Обсяг закону Додда-Френка 2010 року – 848 сторінок, окрім того, 400 різних застережень і доповнень і 8843 сторінок правил використання цього закону (rulebook). Роз'яснення правил, за попередніми оцінками, складуть близько 30000 сторінок. Ситуація в Європі відрізняється в деталях, проте є схожою по суті. З моменту кризи було розпочато понад десяток регуляторних ініціатив, що стосувалися вимог із капіталу, ризик-менеджменту, гарантій депозитів, коротких продажів, ринкових зловживань, інвестиційних фондів, альтернативних інвестицій, венчурного капіталу, ОТС-деривативів, ринків фінансових інструментів, страхування, аудиту і кредитних рейтингів. Вони перебувають на стадії доопрацювання й уже складають понад 2000 сторінок. З урахуванням правил користування цими актами обсяг регуляторної документації катастрофічно зростає до 60000 сторінок⁶. За влучним висловом виконавчого директора з фінансової стабільності Банку Англії А.Халдейна, "Гласс-Стігал – це просто прочищення горла порівняно з Доддом-Френком, а Додд-Френк – легка розминка порівняно з європейськими правилами"⁷.

Аналогічну ситуацію спостерігаємо з Базельськими стандартами. 1988 року було підведено фундамент під регулювання ризиків міжнародної діяльності банків і ухвалено угоду "Базель I". Широта обхвату проблем регулювання ризиків і важливість принципових позицій поєднувалися зі стислістю і простотою. Угода мала обсяг лише 30 сторінок. Стислості досягнуто за рахунок чіткості регуляторних правил на підставі кількох типів кредитних ризиків щодо широкого класу активів. Було визначено п'ять коефіцієнтів ризику і ясні, прості правила розрахунку власного капіталу. Упродовж 1990-х

⁵ Kay J. The Map is Not the Territory: An Essay on the State of Economics / Institute for New Economic Thinking, 2011. – P. 1.

⁶ Див.: Andrew G. Haldane. The dog and the frisbee. – Speech at the Federal Reserve Bank of Kansas City's 366th economic policy symposium, "The changing policy landscape", Jackson Hole, Wyoming, 31 August, 2012.

⁷ Ibid.

років Базельські стандарти зазнали принципових змін і значно ускладнилися. 1996-го було ухвалено Поправки щодо ринкових ризиків (Market Risk Amendment), відповідно до яких уводилася концепція регуляторної торгової книги⁸ і банкам дозволялося використовувати свої внутрішні моделі для оцінки ризиків і регуляторного капіталу. Отже, регуляторний рубікон було перейдено – розмита межа між оцінкою комерційних і регуляторних ризиків і естафета щодо їх оцінки передана банкам. Простий і ясний регуляторний заслін ризикам було усунуто і замінено складними комерційними оцінками. 2004 року ухвалено угоду "Базель II", обсяг якої склав 347 сторінок. Після кризи 2008 року реформування Базельських стандартів відбувалося в напрямку ускладнення і деталізації без зміни принципового підходу. Обсяг угоди "Базель III", ухваленої 2010 року, складає 616 сторінок. Збережено принцип використання банками внутрішніх моделей оцінки ризиків і відходу від широкого класу активів до ризиків індивідуальних позик, що роздуває кількість коефіцієнтів ризику і затьмарює загальну картину. Для великого міжнародного банку кількість параметрів, оцінюваних у торговій книзі, перевищує кілька тисяч⁹. При цьому точність їх оцінки на коротких вибірках, які зазвичай використовують у внутрішньобанківських моделях (близько п'яти років), викликають великий сумнів. Це збільшує непрозорість банківського ризику для інвесторів і регуляторів.

Боротьба регуляторів із зростаючою складністю і непрозорістю фінансових ринків за допомоги збільшення складності та непрозорості регуляторних процедур схожа на ситуацію гасіння пожежі бензином. І проблема не в методології економічної науки і моделювання, а в непрозорості, заплутаності та принциповій неадекватності регуляторних процедур цілям фінансової стабільності. Методологічні принципи Базельських стандартів після реформи "Базель III" залишилися тими самими, що породжували серйозні проблеми і до кризи, – проциклічність, акцент на індивідуальних ризиках фінансових інститутів, неухвага до системних ризиків. Більше за те, нові Базельські стандарти можуть поглибити вторинні негативні ефекти – ускладнити конкурентні умови для класичних банків, що кредитують реальний сектор, на користь фінансових інститутів, які оперують на спекулятивних ринках.

Методологія економічної науки, і зокрема моделювання, має охоплювати розуміння того, що процеси реформ фінансового регулювання супроводжуються доволі жорсткою боротьбою внаслідок зіткнення фінансових, політичних і геополітичних інтересів впливових груп. Поки що не відомі моделі, які б охоплювали розуміння механізмів і наслідків протистояння неформальних інституційних утворень, що мають геополітичний і глобальний фінансовий вплив. У літературі, наприклад, не знайдеш моделей, що досліджують вплив Бельведерського клубу, Потрійного союзу, сімей Рокфеллерів і Ротшильдів, інших впливових груп на світові фінансові процеси і виникнення криз.

Глобальні інституційні та фінансові реформи можуть піти ефективним шляхом лише в тому разі, якщо буде знайдено точки зіткнення і конструктивний консенсус між найвпливовішими конкуруючими силами та інтересами суспільства загалом. У цій ситуації особливо важливою стає роль теоретиків-економістів, методологів моделювання і прогнозування. Якщо економічній науці вдасться виявити внутрішні механізми нагромадження системних ризиків і показати їх катастрофічні наслідки, що ставлять під сумнів добробут усіх сторін, тоді виникає міцний фундамент для пошуку конструктивного виходу. Це аналогічно тому, як усвідомлення мо-

⁸ Торгова книга (trading book) – частина фінансового портфеля банку, брокерської фірми або іншої фінансової установи, де подано фінансові інструменти, які придбають і продають для підтримання торгових операцій з клієнтами, отримання доходу у вигляді різниці між ціною купівлі та продажу, хеджування торгових операцій тощо.

⁹ Див.: Andrew G. Haldane. The dog and the frisbee.

жливості глобальної екологічної катастрофи, невідгідної нікому з конкуруючих груп, приводить до їх переорієнтації з короткострокових конкурентних інтересів на спільні довгострокові цілі збереження життя і безпеки.

Розглянемо глибше другий – методологічний – аспект проблем моделювання і розроблення прогнозів.

Еволюція макроекономічного моделювання і методологічні проблеми

Інтелектуальна чесність полягає не в тому, щоб боятися й уникати помилок, а в тому, щоб нещадно усувати їх.

Карл Поппер

Видатному мислителю XIX–XX століть Анрі Пуанкаре, що залишив після себе визначні відкриття у сфері математики і фізики, першому автору основних принципів загальної теорії відносності, людині великого благодетства і внутрішньої скромності, належать слова: "Кожне покоління сміється з попереднього, звинувачуючи його в надто поспішних і надто наївних узагальненнях. Декарт висловлював співчуття на адресу філософів-іонійців; своєю чергою, він викликає усмішку у нас; без сумніву, коли-небудь наші нащадки посміються з нас"¹⁰. Ці слова дуже точно відображають те, що відбувається зараз у сфері методології моделювання і прогнозування економічних процесів. Автори багатьох сучасних публікацій піддають нищівній критиці існуючі підходи в цій сфері. Багато в чому ця критика є справедливою, проте не слід забувати, що ми здатні бачити далі лише тому, що стоїмо на плечах гігантів.

Першу згадку про застосування математичного моделювання для дослідження макроекономічних процесів прийнято відносити до праці засновника школи фізіократів Франсуа Кене "Економічна таблиця", опублікованої 1758 року. У ній здійснено аналіз суспільного відтворення з позиції встановлення певних балансових пропорцій між натуральними (речовими) і вартісними елементами суспільного продукту. Фактично згрупувавши всіх господарювальних економічних суб'єктів Франції XVIII століття у класи: землеробів (фермери і сільські наймані працівники), власників (землевласники і король) і "безплідний клас" (промисловці, купці, ремісники і наймані працівники у промисловості), Кене склав перший варіант схеми-таблиці міжгалузевого балансу "затрат-випуску", що стала прототипом для подальшого розвитку моделей економічного балансу у працях Л.Вальраса і В.Леонтьєва.

Мірою ускладнення економічної діяльності потреба в осмисленні накопичуваної інформації, з одного боку, і розвитку математики, статистики та їх прикладних можливостей – з іншого, привела до швидкого зростання використання математичних методів в економіці. Цей природний процес визначався взаємодією зростаючого попиту на розширення інтелектуального арсеналу засобів аналізу і прогнозування економіки і пропозиції таких засобів з боку різних гілок математики. У результаті еволюції цієї взаємодії сформувалася нова наука, яка швидко розвивається і сьогодні, – математичні методи і моделі в економіці. Сучасну структуру цієї науки подано на рисунку. Її галузі взаємно переплетені та взаємно обумовлені, деякі з них є усталеними і в певному розумінні досягли своїх меж, деякі лише формуються і відкривають нові перспективи у прогнозуванні.

Дисципліна, що народилася на стику кількох галузей знань, – економіки, статистики і математики, природно стикається з методологічними проблемами кожної з цих наук. Окрім того, кожного разу за розроблення моделі виникає методологічна проблема відповідності між сутністю економічного завдання і змістом математичних інструментів, а також адекватністю статистичного забезпечення моделі. Тому помилка хоча б в одній із

¹⁰ Пуанкаре А. Наука и гипотеза. – М., 2011. – С. 14.

ланок або в їх з'єднанні призводить до помилкового результату моделювання в цілому. На наш погляд, доцільно виокремити два типи методологічних помилок у процесі моделювання економічних процесів. **Методологічною помилкою першого типу** назвемо помилку в рамках методології однієї науки – економіки, математики або статистики. Наприклад, якщо вважати, що передумова ефективних ринків є не правильною, то це економічна методологічна помилка першого типу у класичних моделях ринкової рівноваги. Помилка в методології формування статистичних даних – це статистична методологічна помилка першого типу.

Методологічні помилки другого типу пов'язані з невідповідністю обраного математичного інструментарію або статистичного забезпечення сутності досліджуваної економічної проблеми. Наприклад, вибір лінійних рівнянь для моделювання економічних процесів невідомої структури, які можуть бути і нелінійними, – це методологічна помилка другого типу. Неправомірна "штучна лінеаризація" нелінійних явищ не лише помилково подає логіку їх розвитку, але і може спричинити грубе спотворення сутності розглядуваних процесів. У цьому разі можна не помітити важливі ефекти, які не мають лінійних аналогів.

У відомій суперечці Дж.Кейнса і Я.Тінбергена про метод¹¹, у якому Кейнс піддає жорсткій критиці економетричний метод дослідження, застосований Тінбергеном, також ідеться про методологічні помилки другого типу. На думку Кейнса, метод множинної кореляції є застосовним, лише коли економіст у змозі заздалегідь подати правильний і абсолютно повний аналіз значимих чинників. При цьому виникає проблема використання неповного набору пояснювальних змінних (зміщена оцінка, спричинена пропуском змінних), побудова моделей, що містять неспостережувані змінні (такі, як раціональні очікування), отримані за допомогою погано вимірених даних, заснованих на індексах; отримання помилкової кореляції в результаті заміщаючих змінних.

На введення чинника часу в рівняння регресії Кейнс обрушує не меншу критику. Вона полягає в тому, що використання лінійного тренду означає, що між першим і останнім роками часового ряду проведено пряму лінію, і в результаті дуже багато чого залежить від того, які роки обрані для дослідження. Аналізуючи приклад часового ряду, взятого з 1919 по 1933 роки з книги Тінбергена, він говорить про парадокс, що полягає в тому, що для економіки США був характерним серйозний знижальний тренд за весь період, зокрема за період, що завершився 1929 року. Сумарно зміни досягають 20%, при цьому якби Тінберген досліджував часовий ряд, що завершується 1929 роком, він використовував би зростаючий тренд замість знижального для аналізу тих самих років. Трендова компонента, на думку Кейнса, є дуже схожою на метод коригування невдалих результатів і затемнює той факт, що "це пояснення насправді є помилковим"¹². Людвіг фон Мізес, критикуючи економетричний метод, писав: "...у царині людської діяльності статистика – це завжди історія, і гіпотетичні кореляції та функції не описують нічого, крім того, що трапилося в певний момент часу в певній географічній точці як результат діяльності певної кількості людей. Як метод економічного аналізу економетрика – дитяча гра з числами, яка не додає чого-небудь у роз'яснення проблем економічної дійсності"¹³.

¹¹ Keynes J.M., Tinbergen J. Professor's Tinbergen's Method // Economic Journal. – 1939–1940. – 49. – P. 558–568; A Reply, by J. Tinbergen, and Comment, by Keynes 50. – P. 141–156.

¹² Див.: Розмаинский И. Методологические основы теории Кейнса и его "спор о методе" с Тинбергеном // Вопросы экономики. – 2007. – № 4. – С. 31.

¹³ Mises L. von. The Ultimate Foundation of Economic Science: An Essay on Method. Princeton: D. Van Nostrand, 1962. – P. 23.

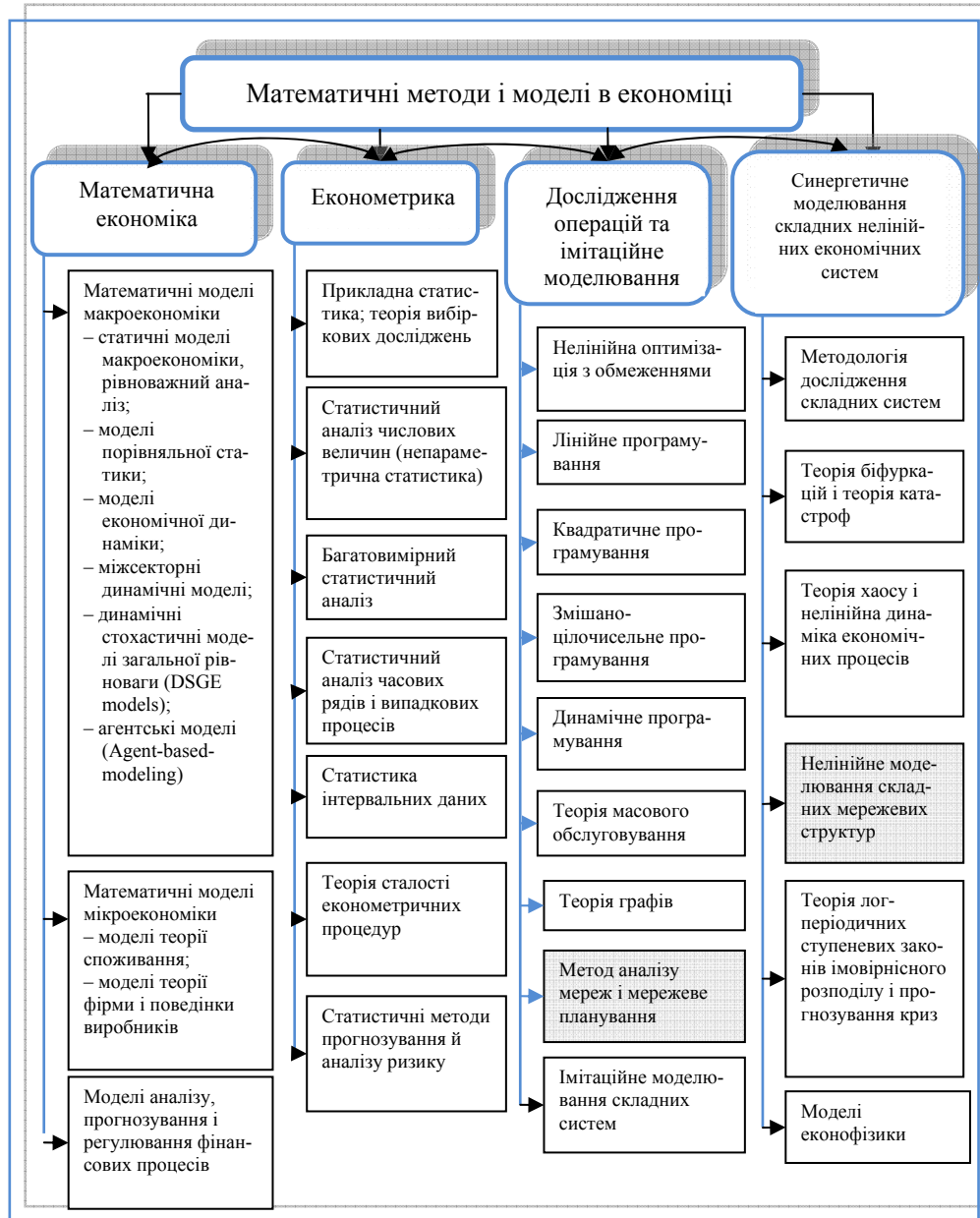


Рисунок. Сучасна структуризація науки "Математичні методи і моделі в економіці"

Поділ методологічних помилок на два принципово різні типи дозволяє чіткіше прояснити природу помилки, її джерело, а отже, шлях її виправлення. Методологічні помилки першого типу мають сутнісний характер й їх слід обдумувати в рамках відповідної науки без перекладання "провини" на суміжну галузь знання. Виправлення методологічних помилок другого типу пов'язане з правильним усвідомленням меж застосування обраного інструментарію і галузі його відповідності сутності досліджуваної економічної проблеми. Сучасну гостру критику моделей оцінки ризику і проблеми "товстих хвостів" імовірнісного розподілу часто зводять

до критики обраного математичного інструменту – нормальної кривої розподілу, тобто до методологічної помилки другого типу. Можливі шляхи усунення таких помилок – розвиток математичного інструментарію конкретно для даного завдання або його заміна іншим, досконалішим з погляду адекватності економічної суті завдання. Вихід лежить не у відкиданні моделювання як такого, а в пошуку адекватних математичних інструментів. Історія математики знає безліч випадків, коли нова математична галузь розроблялася для розв'язання проблем, сформульованих у рамках іншої науки (один із яскравих прикладів – тензорне числення, яке є математичною основою загальної теорії відносності).

Використовуючи запропоновану класифікацію методологічних помилок, розглянемо глибше дискусію, що виникла у зв'язку з глобальною фінансовою кризою.

Найбільшій критиці піддають *динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги* (DSGE – Dynamic Stochastic General Equilibrium models), які застосовують уряди і центральні банки.

Методологічною базою DSGE-моделей, як і їх попередниць – великих макроеконометричних моделей, є *теорія загальної рівноваги*, основи якої закладені у працях Леона Вальраса¹⁴ і розвинені К.Ерроу і Г.Дебре¹⁵. Основна ідея цієї теорії полягає в тому, що розвиток економіки як цілісної системи можна зрозуміти з аналізу стану рівноваги, якої вона досягає внаслідок оптимізуючої поведінки її частин – ринкових агентів. Першими впровадженнями цієї теорії були високоагреговані великі макроеконометричні моделі (LMM – Large-scale Macroeconometric Models), які містили сотні (іноді тисячі) економетричних рівнянь, що являють собою регресійні співвідношення між макроекономічними змінними, побудовані на підставі величезної кількості даних і аналізу часових рядів. Вибір змінних частково визначали положення економічної теорії, але більшою мірою емпіричний досвід та інтуїція дослідників. Для оцінки параметрів використовували рівноважні співвідношення між попитом і пропозицією на різних ринках. Ці моделі стали об'єктом відомої *критики Лукаса*. Роберт Лукас писав, що макроекономічні моделі мають бути засновані на фундаментальній теорії, а не на емпіричних кореляціях, отриманих із високоагрегованих історичних даних. Через те, що параметри таких моделей не є структурними, тобто не відображають фундаментальні економічні взаємозв'язки, вони обов'язково зміняться в разі зміни політики. Тому висновки про економічну політику, засновані на таких моделях, є обманливими: "Будь-які зміни політики систематично змінюватимуть саму структуру економетричних моделей"¹⁶.

У відповідь на критику Лукаса подальша еволюція макроекономічного моделювання пішла шляхом спроб створення таких моделей, які, з одного боку, могли б ґрунтуватися на фундаментальних законах і враховувати мікроекономічне коріння формування макростанів, а з іншого – були здатні впоратися з кількісним аналізом великих масивів даних. Виник новий клас динамічних моделей загальної рівноваги, що включає три типи: динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги (DSGE), обчислювані моделі загальної рівноваги (Computable General Equilibrium models – CGE) і прикладні моделі загальної рівноваги (Applied General Equilibrium models – AGE). Паралельно розвивався дещо інший напрям

¹⁴ Walras L. Elements of Pure Economics (trans Jaffe), Irwin, 1954.

¹⁵ Arrow K. J., Debreu G. The Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy // Econometrica. – 1954. – Vol. XXII. – P. 265–290.

¹⁶ Lucas R. Econometric Policy Evaluation: A Critique, in Brunner K.; Meltzer A. The Phillips Curve and Labor Markets, Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1, New York: American Elsevier, 1976. – P. 19.

агентських моделей (Agent-based Computational Economics – ACE; Agent-Based Models – ABM).

Найбільшої популярності набули DSGE-моделі¹⁷. Основна ідея моделей такого типу полягає в моделюванні функцій корисності окремих економічних агентів у припущенні раціонального вибору і подальшої інтеграції результатів цього вибору в рівноважну структуру. Макроекономічний рух до рівноваги тут визначається мікроекономічними підставами, тобто незалежним вибором багатьох економічних агентів, кожен із яких максимізує свою корисність за заданого бюджетного обмеження. Стохастичність вводиться в модель через імовірнісний розподіл доходів, який передбачається відомим ринковим агентам.

Сьогодні існують дві школи DSGE-моделювання, які конкурують між собою.

Теоретичною основою першої школи є теорія реального бізнес-циклу (Real Business Cycle – RBC-theory) в рамках неокласичних моделей зростання. Моделі цього типу вивчають, як реальні шоки можуть породжувати економічні флуктуації за обставин передумови гнучких цін. Перші розробки в цьому напрямі було зроблено Кідландом і Прескоттом¹⁸, які поклали початок розвитку RBC-теорії та DSGE-моделювання загалом.

Друга школа заснована на методології неокейнсіанства. Структура цих DSGE-моделей подібна до структури моделей першої школи, проте їх вихідна передумова гнучкості цін вважається помилковою. Відповідно до допущення жорсткості цін у цих моделях ціни встановлюються фірмами-олігополістами і не можуть безперервно і безперешкодно змінюватися. Першою працею, в якій запропоновано таку структуру моделювання, була стаття Ротемберга і Вудфорда¹⁹.

Добре відомою є модель цього класу Сметса-Уотерса, розроблена в ЄЦБ 2002 року, яку використовували для аналізу економіки єврозони загалом. У неї включено три типи агентів: домогосподарства, які оптимізують споживчий вибір; фірми, що оптимізують залучення ресурсів, виходячи з виробничої функції Кобба-Дугласа, і центральний банк, який контролює монетарну політику. Вражає, що ця модель центрального банку не включає в явному вигляді банківський сектор і фінансові ринки, що типово для DSGE-моделей докризового періоду. На початку третього кварталу 2008 року модель не лише не "бачила" розгортання глибокої кризи, але навіть не припускала вповільнення економічного зростання. Уже після початку кризи, після коригування даних у четвертому кварталі модель спрогнозувала надто швидке відновлення економіки порівняно з реальними подіями.

Якщо наявність методологічної помилки першого типу – коректність передумов теорії загальної рівноваги – можна дискутувати, то існування методологічної помилки другого типу – невідповідність структури моделі (зокрема, відсутність у ній фінансового сектора) сутності економічної проблеми – є очевидною.

До кризи 2008 року існували певні модифікації DSGE-моделей, у яких здійснено спроби аналізу впливу фінансових процесів на реальні бізнес-цикли без явного введення в модель банківського сектора. Зокрема, це

¹⁷ Багато центральних банків розробили власні варіанти DSGE-моделей: Банк Канади – модель ToTEM; Банк Англії – BEQM; Європейський Центральний банк – Smets-Wouters Model, NAWM; Банк Норвегії – NEMO; Ріксбанк Швеції – RAMSES; ФРС США – SIGMA; МВФ – моделі GEM, GFM и GIMF; Центральний банк Чилі – MAS; Центральний резервний банк Перу – MEGA-D.

¹⁸ *Kydland F.E., Prescott, E.C. Time to build and aggregate fluctuations // Econometrica: Journal of the Econometric Society. – 1982. – 50 (6): 1345–1370.*

¹⁹ *Rotemberg J.J., Woodford M. Dynamic General Equilibrium Models with Imperfectly Competitive Product Markets // NBER Working Papers. – 4502, National Bureau of Economic Research, Inc., 1993.*

модель фінансового акселератора Бернанке, Гертлера і Гілчриста²⁰ (1999). У своїй статті автори згадують праці І.Фішера, Х.Мінського та інших учених, що переконливо обґрунтували роль кредитних бумів у виникненні криз, і мотивують цим необхідність включення фінансових процесів у структуру DSGE-моделей. Проте не включають у свою модель банківський сектор у явному вигляді. Кредитний ринок є анонімним, банки розглядаються як беззбиткові структури, що фінансуються позичальниками за безризиковою ставкою, які лише забезпечують канал переміщення коштів між кредитором і позичальниками. Передбачається, що банки не схильні до небезпеки дефолту або банкрутства, можливість фінансової кризи не розглядається і лежить за рамками моделі. Механізм фінансового акселератора, здатного підсилити зовнішні шоки, впроваджується в модель через сектор фірм за допомогою взаємозв'язку між добробутом фірми і премією за зовнішнє фінансування. Оскільки в моделі відсутній міжбанківський сектор, вплив банківського капіталу на механізм фінансового акселератора не врахований. Загалом модель включає цікаві елементи, проте залишається дещо штучною і, на наш погляд, містить методологічну помилку другого типу.

Справжнім проривом у DSGE-моделюванні стала модель кредитних циклів Кійотаки та Мура²¹ (1997). У добре розвиненій динамічній моделі досить повно освітлюється механізм позитивного зворотного зв'язку між заставним забезпеченням, цінами на активи і кредитним бумом. По суті, змодельовано в точності те, що відбулося 2008 року. Проте, незважаючи на популярність у літературі та свою прогностичну силу, модель не отримала широкого визнання і застосування у фінансовому регулюванні.

Після початку кризи 2008 року і лавини критики, що обвалилася на DSGE-моделі центральних банків і урядів, аж до закликів повністю відмовитися від моделювання внаслідок принципової непрогнозованості фінансових криз, почався новий виток активної еволюції у сфері DSGE-моделювання. З'явилася безліч моделей DSGE, у структуру яких у явному вигляді було включено банківський сектор і кредитні процеси. До них належать, наприклад, моделі Гертлера і Караді (2010), Гертлера і Кійотаки (2010), Гералі, Нері, Сесса і Сігноретті (2010), Діба (2010). У цих моделях серйозну роль у посиленні економічних коливань відіграють кредитні цикли, банківський капітал і завищений левелердж.

Схоже на те, що результатом складної еволюції DSGE-моделювання стане відкриття на новому рівні старих істин, що містяться в гіпотезі фінансової нестабільності Мінського, теорії боргової дефляції Фішера і теорії банківських криз австрійської наукової школи.

Розвиток економічної науки дивовижним чином підтверджує думки Анрі Пуанкаре: "Поза сумнівом, якби наші методи дослідження ставали дедалі глибшими, то ми відкривали б просте під складним, потім складне під простим, потім знову просте під складним і так далі, причому неможливо було б передбачити, якою буде остання ланка"²². Економічна наука підійшла до розуміння простих істин, що лежать в основі фінансових криз. Проте за цією видимою простотою ховається внутрішня складність, що перешкоджає прогнозуванню часу настання криз та їх завчасному запобіганню. Можливості розуміння цієї складності натрапляють на межі пануючого в економіці аналітичного мислення, побудованого на філософії редуціонізму, тобто вірі в те, що детальне вивчення частин може дати уявлення про

²⁰ Bernanke Ben S., Gertler M., Gilchrist S. The Financial Accelerator in a Quantitative Business Cycle Framework // Handbook of Macroeconomics. – Vol. 1. Edited by J.B.Laylor and M. Woodford © 1999 Elsevier Science.

²¹ Kiyotaki N., Moore J. Credit Cycles // Journal of Political Economy. – 1997. – Vol. 105. – No. 2. – P. 211–248.

²² Пуанкаре А. Наука и гипотеза // <http://vivovoco.rsl.ru/VV/PAPERS/NATURE/POINT2.HTM>.

функціонування цілого. Вивчення частин необхідне, але ж цього не достатньо. У рамках такого мислення навіть математично витончені інструменти вже не дають нової якості знань, що нашттовує багатьох економістів на припущення про принципову непрогнозованість криз. Проте те, що перебуває за межами пізнання сьогодні, не обов'язково залишиться таким завтра.

**Перспективи макроекономічного прогнозування:
моделювання складності, нелінійна динаміка і мережеві структури**

Математика – це лише дуже мала і проста частина життя. Якщо хтось не вірить у те, що математика є простою, то це лише тому, що він не усвідомлює, наскільки складним є життя.

Джон фон Нейман

Сьогодні досить швидко розвивається новий підхід до математичного моделювання економіки, який здатен подолати вузькість аналітичного способу мислення, обмеженого вивченням цілісності як суми властивостей її окремих частин. В основу нового підходу покладено кілька потужних концептуальних ідей, зокрема:

– **ідеї, об'єднані терміном "методологія складності"** (methodology of complexity). Вони засновані на розгляді складних систем із великою кількістю взаємодіючих елементів як цілісності, поведінка якої визначається внутрішніми когерентними процесами, колективними режимами й емерджентними властивостями (тобто властивостями, що не зводяться до суми властивостей частин);

– **підходи теорії нелінійної динаміки і теорії катастроф** стосовно економічних процесів;

– **ідеї фрактальних форм і розмірностей**, запропоновані Б.Мандельбротом, у дослідженні випадкових процесів в економіці;

– **теорія лог-періодичних ступеневих законів** (Log-Periodic Power Laws – LPPL) імовірнісного розподілу, заснована на математичному узагальненні концепції фракталів складної комплексної розмірності, для прогнозування фінансових криз;

– **ідеї моделювання динаміки складних мережевих структур** стосовно економіки.

Ці ідеї пропонували і розвивали вчені різних галузей науки – математики, статистичної фізики і квантової механіки, антропології, нейробіології, молекулярної біології, теорії еволюції та походження життя, геології, кліматичних змін, економіки, соціології, психології тощо. Проте їх об'єднує спільний концептуальний погляд на поведінку складних систем, який набуває різного змістовного забарвлення в застосуванні до систем різної природи. Це аж ніяк не означає механічного перенесення розуміння процесів з однієї галузі науки в іншу, радше, свідчить про новий рівень глибини розуміння дихотомії "універсальність – специфічність". Розуміння загальних універсальних принципів не замінює конкретного знання механізмів їх утілення у специфічні складні системи. Проте ці принципи допомагають побачити плідний напрям досліджень і стимулюють відкриття нових властивостей і глибоких неочевидних закономірностей у поведінці конкретної системи.

Дослідження складних систем останніми роками розвивається як певна фундаментальна методологічна структура мислення, що охоплює такі проблеми, які здаються незбагненними з позицій традиційного аналітичного підходу. В основі цієї структури лежать три фундаментальні концепції – *складність* (complexity), *емерджентність* (emergence) і *мережеві структури* (networks).

Сьогодні існує численна література щодо складних систем, у якій здійснено спроби опису сутності концепції "складність", проте її чітке визначення поки відсутнє. Мабуть, на цьому етапі спроби дати чітке універ-

сальне визначення зазнають невдачі, оскільки мимоволі відсікають якісь доволі місткі класи об'єктів, обідняючи концепцію складності. У зв'язку з цим не можна не пригадати мудрі слова засновника нелінійної фізики Л.Мандельштама, який порівнював надмірно обмежувальні визначення на початковому етапі існування наукової дисципліни зі згубною пристрастю завертати дитину в колючий дріт²³.

На найповерхневішому рівні розуміння ясно, що концепція "складність" має як мінімум два аспекти:

– "складний" – це такий, що складається з великої кількості взаємодіючих і взаємопов'язаних компонентів;

– "складний" – це важкий для розуміння, тобто такий, що вимагає великої кількості інформації для свого опису.

Ці аспекти лежать в основі двох кількісних підходів до оцінки ступеня складності системи – структурний (кількість елементів мережі та структура їх взаємозв'язків) і інформаційний (кількість інформації, необхідна для опису системи).

Одна з інформаційних метрик складності виглядає так:

$$I = \log_2(\Omega),$$

де I – кількість інформації, необхідна для опису системи; Ω – кількість можливих станів системи.

Другою концепцією теорії складності, яку важко визначити, є "емерджентність". Під емерджентністю розуміють якості системи, що не зводяться до властивостей її частин, які виникають унаслідок когерентної поведінки елементів системи, що ендегенно породжує неочікувані макроскопічні ефекти. Розрізняють *локальну* емерджентність системи – коли когерентна поведінка виникає в малій частині системи, і *глобальну* – коли когерентна поведінка елементів охоплює всю систему. Наприклад, тиск і температура – це прояв локальних емерджентних властивостей газу, які вивчає термодинаміка і статистична фізика; феномен свідомості – дивовижне і поки що слабо досліджена властивість глобальної емерджентності людського мозку. Класичним прикладом аналізу глобальної емерджентності в нейробіології є дослідження феномену асоціативної пам'яті в моделях нейронних мереж, відоме як модель Хопфілда (Hopfield model) або мережевий аттрактор.

У складних економічних системах одне з найважливіших питань, що є ключем до проблеми прогнозування криз, є питання про можливі способи взаємодії локальної та глобальної емерджентності, яке на сьогодні залишається нерозв'язаним. Дослідження цього питання лежить у площині *нелінійної динаміки складних систем*.

Яскравий і простий опис вододілу між лінійною і нелінійною динамікою дав відомий учений Ю.Данилов: "Світ нелінійних закономірностей, як і світ нелінійних явищ, що стоїть за ним, лякає, підкорює і невідпорно вабить своєю невичерпною різноманітністю. Тут немає місця статичному стандарту, тут неподільно панує мінливість і шаленство форм. Те, що точно охоплює і передає характерні особливості одного класу нелінійних функцій, нічого не говорить навіть про прості особливості нелінійних функцій іншого класу... На однакові прирощення незалежної змінної одна і та сама нелінійна функція відгукується по-різному залежно від того, якому значенню незалежної змінної надається прирощення. Майже повною "байдужістю" до зміни одних і підвищеною чутливістю до зміни інших значень незалежної змінної нелінійні функції контрастують із лінійними. Будь-яка лінійна функція відгукується на прирощення незалежної змінної одним і тим самим прирощенням свого значення для будь-якого значення змінної. Саме тут і проходить демаркаційна лінія між світом лінійних і нелінійних явищ"²⁴.

²³ Див.: Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. – М., 2006.

²⁴ Там же. – С. 37.

Фізики в минулому вважали, що саме лінійна теорія дає головний член нескінченного ряду послідовних наближень до істини, а нелінійності відводили скромну роль поправки, що не змінює сутності висновків. Лінійний математичний апарат був невід'ємним елементом їх математичної культури, "...ввійшов у плоть і кров, набув майже відчутних на дотик форм у вигляді цілої серії насичених яскравими фізичними ідеями й образами сутностей, що дозволяють фізику, минувши тяготи обчислень, інтуїтивно передбачати відповідь"²⁵. Тих, хто сподівався, що зможе лінійний математичний апарат пристосувати до розв'язання нових нелінійних задач, чекало розчарування. За висловом Л.Мандельштама, лінійний математичний апарат відторгав чужорідну тканину нелінійних доповнень. Штучна лінеаризація виявлялася малоефективною, переважно нічому не вчила, а іноді була надзвичайно шкідливою. Як свого часу фізика, економічна наука сьогодні досягла того рівня зрілості, який актуалізує необхідність переходу до нелінійного мислення. Дослідники складних економічних систем ідуть шляхом розв'язання нелінійних проблем "поштучно", використовуючи їх індивідуальні особливості. Це цілком нормальний старт для напрацювання досвіду нелінійного моделювання, який пройшли й інші науки, проте не можна вважати, що це є широкою магістраллю методологічного розвитку. Нелінійна економіка має знайти внутрішню єдність. Як колись за становлення нелінійної фізики²⁶, потрібно створити нелінійну культуру мислення економістів, що включає надійний математичний апарат і економічні уявлення, адекватні новим завданням, виробити нелінійну інтуїцію, необхідну там, де виявляється непридатною інтуїція, вироблена на лінійних завданнях. Можливо, що всередині цієї культури питання про принципову непрогнозованість фінансових криз набуде іншого звучання і про демонструє новий ракурс у постановці та розв'язанні завдань. Яскравим прикладом проблеми непрогнозованості в науці є відома задача Лоренца про теплову конвекцію, пов'язана з питаннями прогнозування погоди в середньо- і довгостроковому періодах. Ця задача була зведена Лоренцем до розв'язання системи трьох диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma x + \sigma y, \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz, \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xz.\end{aligned}$$

Виявилось, що розв'язання цієї системи поводитьсь абсолютно незвичайним, несподіваним чином. Це був новий тип поведінки траєкторій, що притягуються у фазовому просторі до якогось невідомого до цього моменту просторового утворення, яке має складну (фрактальну) структуру, не має аналогів на площині й отримало назву "аттрактор Лоренца". Про ступінь його порізаності можна було судити за кількісними мірами стохастичності фрактальної природи. Як пишуть багато авторів, відкриття Е.Лоренца справило враження вибуху бомби: такої складної поведінки від простої системи з трьох звичайних диференціальних рівнянь із квадратичними нелінійностями не чекав ніхто. Це асоціювалося з принциповою непрогнозованістю. Ясніше розуміння характеру складності аттрактора Лоренца виникло пізніше – після появи кількісних мір складності хаотичних структур і режимів. Можливо, в подальшому, мірою поглиблення розуміння складних нелінійних систем і внутрішньої природи дивних аттракторів, питання про непрогнозованість траєкторій буде знято.

²⁵ Там же.

²⁶ Див.: Бойко Е.С. Школа академіка А.А.Андропова. – М., 1983.

Розвиток математичних моделей економіки може піти схожим шляхом. Уже зараз з'являються статті в галузі прогнозування фінансових криз, у яких розвиваються нелінійні динамічні моделі з використанням категорій мультифрактальності. Зокрема, у працях Дідьє Сорнетте запропоновано новий погляд на прогнозування криз на основі **теорії лог-періодичних ступеневих законів** (Log-Periodic Power Lows – LPPL) розподілу, заснованої на математичному узагальненні концепції фракталів складної комплексної розмірності²⁷.

Ідею фрактальних форм і розмірностей було запропоновано Бенуа Мальдербротом²⁸. Він перший указав на важливий пропуск у "Началах" Евкліда (основи 2000-річного розвитку геометрії, за допомоги яких людство осягало геометрію навколишнього світу), що полягає в неявному припущенні про гладкість геометричних об'єктів. "Бенуа Мальдерброт запропонував здивованому світу по суті нову неевклідову геометрію... Він створив неевклідову геометрію негладких, шорстких, забулених, роз'їдених ходами, порами, тріщинами й отворами, звивистих тощо об'єктів, свого роду математичних парій, за мовчазною домовленістю тих, яких раніше виключали з розгляду на користь більш благовидих, усереднених, згладжених, відполірованих, випрямлених об'єктів. Між тим, саме такі неправильні об'єкти складають переважну більшість об'єктів природи"²⁹. Мальдерброт писав, що Евклідова геометрія не здатна описати форму реальних об'єктів Природи, оскільки вони є дуже нерегулярними і фрагментованими, і Природа має не просто більшу складність, а складність абсолютно іншого рівня.

Мальдерброт пояснює значення введеного ним поняття фракталу як певного утворення у просторово-часовому континуумі, самоподібного або самоафінного в тому чи тому сенсі. Згідно з Мальдербротом, слово "фрактал" походить від латинських слів "fractus" – дробовий, і "frangere" – ламати, що прийнято розуміти як "зламана", нерегулярна множина, що має властивість самоподібності. Найпростіші фрактали мають регулярну, правильну структуру, кожен фрагмент якої точно повторює всю конструкцію загалом. До таких фракталів належать відомі математичні структури – канторівський пил, килим Серпинського, сніжинка Коха, дискретна послідовність Туе-Морса, що виникає в різних динамічних ситуаціях (символічна динаміка, числа Фібоначчі, трикутник Паскаля і т. д.). Складніші фрактали можуть бути не такими регулярними. Їх самоподібність може виявлятися по-різному, наприклад, у збереженні нормальності випадкового розподілу в різних масштабах, можливо, з різними дисперсіями і середніми значеннями. Прикладами випадкових фракталів реального світу можуть слугувати берегові лінії, рельєф гір, синергетичні структури, траєкторії коливань цін на фінансових ринках, Лоренцеві аттрактори тощо. Існують гіпотези, що динамічні структури живих організмів і навіть Всесвіту також мають фрактальну природу.

Як виявилось, математичні фрактальні структури на диво точно відбивають властивості багатьох реальних нелінійних (тобто чутливих до малих змін параметрів) процесів різної природи в біології, фізиці, економіці, соціології та інших галузях знань. Можливо, наявність самоподібності є принциповим моментом у розвитку Природи і суспільства від простого до складного, коли дрібніші структури в масштабі, що нескінченно змінюється, в якомусь сенсі подібні більшим. Це спосіб компактної схеми зберігання інформації та нескінченного розвитку на дедалі складнішому рівні.

²⁷ Sornette D., Woodard R. Financial Bubbles, Real Estate bubbles, Derivative Bubbles, and the Financial and Economic Crises; Filimonov V., Sornette D. Self – Exited Multi-fractal Dynamics // <http://arxiv.org/abs/1008.1430>.

²⁸ Мальдерброт Б. Фрактальные объекты: форма, случай и размерность. – М., 1975; Мальдерброт Б. Фрактальная форма, случай и размерность. – М., 1977; Мальдерброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М., 1977 та ін.

²⁹ Данилов Ю. Лекции по нелинейной динамике. – С. 54.

Складні мережі та моделювання економічних процесів

Складні мережі є структурним ядром складних систем різної природи, зокрема економічних. Банківська система, фінансова система, економіка загалом на національному і міжнародному рівнях – усе це складні мережі, що мають специфічну структуру. Їхні динамічні властивості мають яскраво виражений нелінійний характер, який, як показала глобальна фінансово-економічна криза, слабо піддаються прогнозуванню. Упродовж останніх років відбувається бурхливий розвиток теорії складних мереж як нової міждисциплінарної галузі, що виросла з методології складних систем, нелінійної динаміки, теорії графів і низки інших математичних дисциплін. По суті, моделювання складних мереж є сьогодні переднім краєм розвитку, або "точкою зростання" математичних методів прогнозування в економіці. Саме тут може відбутися якісний прорив у розумінні глибинних механізмів формування криз і розробленні методів прогнозування нового типу.

Реальні економічні мережі демонструють доволі складну стохастичну динаміку. Як під впливом внутрішньої логіки їх розвитку, так і в результаті випадкових зовнішніх дій кількість вузлів мережі може зростати і скорочуватися, зв'язки між ними можуть виникати і зникати. Для вивчення динамічних процесів виникнення, життя і смерті мережевих структур ще в 60-і роки минулого століття угорськими математиками Полом Ердешем і Альбертом Реньї було створено *теорію випадкових графів*³⁰. Вона дала розуміння того, що тип мережі та її структурні характеристики є важливою інформацією для прогнозування динаміки і стійкості мережі до можливих шоків. За довільного видалення вузлів із випадкового графу Ердеша-Реньї існує певне критичне значення відношення кількості видалених вузлів до загальної кількості вузлів мережі, в разі перевищення якої мережа розпадається на окремі кластери, тобто втрачає свою цілісність. Головними відкриттями в розумінні мереж Ердеша-Реньї є такі.

1. Ймовірнісний розподіл ступенів вузлів таких мереж описується законом Пуассона:

$$P(k_i = k) = C_{N-1}^k \cdot p^k \cdot (1-p)^{N-1-k}.$$

2. За значення ймовірності виникнення зв'язків більшого за певне критичне значення:

$$p > p^* = n^{-1} = \frac{1}{n},$$

де n – кількість вузлів,

несподівано і доволі швидко виникає гігантський зв'язаний кластер,

розмір якого є функцією $f = f(n^{2/3})$; якщо ця ймовірність є меншою або дорівнює критичному значенню:

$$0 < p \leq p^* = n^{-1} = \frac{1}{n},$$

то випадкова мережа являє собою деревом розміру $f(\log n)$.

У чому обмеження моделі Ердеша-Реньї?

Простота моделі випадкового графу Ердеша-Реньї дозволяє отримувати певні структурні оцінки мереж, проте ця модель не відтворює багатьох якостей реальних складних мереж і не відображає їхньої поведінки в реальному світі. Це зумовлено такими обмеженнями.

³⁰ Erdos P., Renyi A. On random graphs I // Publ.Math.Debrecen. – 1959. – Vol. 6. – P. 290–297; Erdos P., Renyi A. On the evolution of random graphs // Publ.Math.Inst.Hungar Acad.Svi. – 1960. – Vol. 5. – P. 17–61; Erdos P., Renyi A. On the evolution of random graphs // Bull.Inst.Int.Statist. Tokyo. – 1961. – Vol. 38. – P. 343–347.

1. У випадкових мережах Ердеша-Реньї кількість вузлів вважають фіксованою.

У реальному світі складні мережі є системами, що еволюціонують, розвиваються, а не статичними об'єктами. Вони постійно розширюються або стискаються, в них з'являються нові вузли або зникають ті, що вже існують разом із своїми зв'язками. Тобто модель Ердеша-Реньї не враховує можливості зростання мережі (networks' growth).

2. У випадкових мережах Ердеша-Реньї передбачається однакова ймовірність виникнення зв'язків між будь-якими двома вузлами.

У реальності в багатьох складних мережах різної природи формування зв'язків у нових вузлів відбувається за законом переважного приєднання (preferential attachment). Цей закон полягає в тому, що нові вузли воліють формувати зв'язки з вузлами, в яких уже існує найбільша кількість зв'язків. У цьому разі ймовірнісні розподіли ступенів вузлів не підкоряються закону Пуассона, а описуються ступеневими законами з параметрами, відповідними специфічній природі тієї чи тієї мережі. Такі мережі були відкриті Ласло Барабаши і Рекою Альберт і отримали назву безмасштабних, або масштабно-інваріантних мереж (Scale-Free Networks). Виявилось, що в цих мережах ймовірнісний розподіл ступенів вузлів підкоряється не біноміальному, а ступеневому закону:

$$P(k) \approx k^{-\gamma},$$

$$P(k_i) = \frac{k_i}{\sum_j k_j}.$$

Тобто ймовірність того, що новий вузол з'єднається з вузлом, що має k зв'язків, пропорційна значенню k . Виявлявся відомий феномен "багатий стає багатшим" (Rich get richer). Такий розподіл ступенів зумовлює унікальні особливості структури мережі – мала кількість вузлів містить дуже велику кількість зв'язків, тобто ці вузли стають хабами (hub), а решта величезної кількості вузлів містить малу кількість зв'язків. Фінансова система є складною мережею подібного типу, в якій великі системні банки ("фінансові хаби") мають особливий вплив на динаміку глобальної мережі й у разі неправильного регулювання стають джерелами системних ризиків. На відміну від випадкових мереж Ердеша-Реньї, для безмасштабних мереж характерні висока стійкість до випадкових пошкоджень і відсутність критичної кількості вузлів, руйнування яких веде до розпаду всієї мережі. Проте безмасштабні мережі є надзвичайно вразливими перед цілеспрямованими атаками на хаби або їх випадковими пошкодженнями. Достатньо вивести з ладу малу кількість вузлів, що виконують функції хабів, і мережа припиняє своє існування як цілісна структура. Схожі процеси відбулися у глобальній банківській системі впродовж останньої кризи – виведення з ладу кількох великих банків призвело до дисфункціональності всієї банківської системи. Це настановує на думку про необхідність упровадження регулювання розміру банків, кількості та якості їх мережевих зв'язків з метою зміни архітектури банківської мережі та зниження її вразливості.

Нещодавно групою дослідників на чолі з Д.Чалво³¹ отримані свідчення того, що функціональні зв'язки в мозку людини також утворюють безмасштабні мережі, в яких постійно відбуваються процеси самоорганізації та розпаду функціональних нейронно-мережевих структур. Кожна така мережа, що об'єднує нейронні ансамблі з різних відділів мозку, створюється для реалізації певної функції мозку – поведінкової, когнітивної і т. д. Отже, не лише мережі, створені людиною, зокрема, економічні та со-

³¹ Chialvo D. Emergent complexity: what uphill analysis or downhill invention cannot do; New Ideas in Psychology (2007), doi:10.1016/j.newideapsych. 2007.07.013.

ціальні, але і багато мереж, створених Природою у процесі еволюції, мають структуру безмасштабних.

Одним із найпоширеніших класів мереж, які також належать до безмасштабних складних, є *мережі тісного світу* (Small World Networks). 1967 року соціолог із Гарвардського університету Стенлі Мілграм здійснив дослідження, спрямоване на з'ясування мінімальної кількості кроків, яка могла б пов'язати будь-які вузли в мережі³². Суть експерименту полягала в розсилці листів випадково обраним людям із проханням знайти можливість передати листа вказаній людині, абсолютно не знайомій респонденту. Результати були вражаючими і набули широкої популярності як *"шість ступенів розділення"* (Six degrees of separation). Здебільшого листи досягали цільового адресата, пройшовши в середньому шість проміжних пересилок. Цей дивовижний результат полягав у такому твердженні: кожну людину на земній кулі можна зв'язати з будь-якою іншою людиною ланцюжком із шести знайомих. Цей експеримент вважають емпіричним доказом *"явища тісного світу"*. Він був ще неодноразово проведений досконаліше і підтвердився. У середині 1990 років Стівен Строгатц і Дункан Воттс здійснили поглиблені дослідження мереж, що мають властивість "тісного світу". Комп'ютерне моделювання різних типів мереж показало, що цю властивість мають мережі з високим ступенем кластеризації та малим значенням середньої довжини шляху між вузлами³³.

Важливим феноменом, що виникає у складних мережах, є феномен синхронізації коливальної динаміки елементів мережі. Його моделювання дозволило б певною мірою пролити світло на механізми формування особливих умов, які призводять до спонтанного виникнення колективної поведінки агентів мережі та когерентних ефектів, що руйнують мережу як цілісний організм. У застосуванні до складних економічних мереж ці підходи відкривають нові перспективи в моделюванні системних ризиків і прогнозуванні фінансово-економічних криз.

MACROECONOMIC MODELING: MODERN CHALLENGES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Tetiana Unkovska

Author affiliation: Doctor of Sciences (Economics), Leading Research Fellow, Department of Economic Theory, State Institution "Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine"

The global financial crisis with dramatic abruptness and unprecedented costs destroyed the illusive growth based on credit pyramids. As history suggests, the global risk of such abrupt declines consists in the probability of triggering a chain reaction of consequences, which eventually may lead to dangerous geopolitical changes. One of the candidates for the role of the culpable for the loss of control over the economic processes is often identified as the imperfect character of the methodology of macroeconomic modeling and forecasting. The article's aim is to define the essence of that issue, to comprehend the most acute problems in that area and to outline possible guidelines for their solution.

Keywords: financial crisis, global risks, forecasting, controllability of economic processes, macroeconomic modeling.

JEL: E6, E37, E47, F37, F47.

³² *Milgram S.* The small world problem // *Psychology Today*. – 1967. – № 2. – P. 60–67.

³³ *Watts D.* Six degrees. W. W. Norton & Company, New York, 1995, 2004.