

Джунь Й. В., д. ф.-м.н., професор (Міжнародний економіко – гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука, м. Рівне)

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЧНИХ, СОЦІАЛЬНИХ ТА ПЕДАГОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

*Анотація.* В статті проведено аналіз актуальних проблем математичного моделювання в економічних, педагогічних та соціальних дослідженнях. Піддано критиці схильність окремих дослідників переносити методи моделювання, розроблені для технічних наук, у інші області, суттєво складніші, ніж фізичний експеримент. Обґрунтовано, що переносити методи активного експерименту, де всі фактори точно визначені, в сфери, де неможливо це зробити, є ненауковим підходом. Замість регресійного моделювання в таких умовах запропоновано проводити спектральний аналіз випадкових процесів чи полів як єдиний науковий і найбільш потужний метод математичного моделювання в умовах багатофакторної невизначеності.

**Ключові слова:** математичне моделювання, тест науковості емпіричної теорії, регресійний і спектральний аналізи, неklasична теорія похибок.

*Аннотация.* В статье проведен анализ актуальных проблем математического моделирования в экономических, педагогических и социальных исследованиях. Подвергнуто критике склонность отдельных исследователей переносить методы моделирования, разработанные для технических наук, в иные области, существенно сложнее, чем физический эксперимент. Обосновано, что переносить методы активного эксперимента, где все факторы точно определены, в области, где невозможно это сделать, есть ненаучным подходом. Вместо регрессионного моделирования в таких условиях предложено использовать спектральный анализ случайных процессов или полей как единственно научный и наиболее мощный метод математического моделирования в условиях многофакторной неопределенности.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, тест научности эмпирической теории, регрессионный и спектральный анализы, неклассическая теория ошибок.

*Annotation.* The article is devoted to the analysis of actual problems of mathematical modeling in economic, pedagogical and social studies. The tendency of some researchers to transfer the modeling methods developed for physical sciences and in the conditions of an active experiment in completely different field, are significantly more complicated than the physical experiment,

*in which it is impossible to control or even accurately determine the number of factor characteristics is reasonably criticized in the article. In this case, it is said that the modeling is conducted under the conditions of a passive experiment, which in fact means arbitrary treatment of the factor boundaries. Such an approach, which now appears as a scientific method, is not such and can lead not only to paradoxical, but also to tragic, irreversible consequences. To carry out the methods of an active experiment where all factors are controlled and precisely defined, in areas where it is impossible to do this, is a non-scientific approach, since the research in this case is conducted in a passive (rather helpless) experiment. Instead of regression modeling, the article proposes to use spectral analysis as the only scientific and most powerful method of mathematical modeling in conditions of multi-factor uncertainty. It is the spectral analysis that allows getting the most perfect mathematical model of the process of any complexity. Aspiring to simplicity, researchers often mistakenly believe that the residual errors of a mathematical model, whether regressive or spectral, are Gaussian. This in terms of computerization and automation of scientific experiments is a blunder, since today the volume of observations reaches thousands, tens of thousands, or even hundreds of thousands. The normal distribution law of residual error of the model under such conditions, is almost never observed. The study of the famous Cambridge Professor H. Jeffreys showed that, the hypothesis of error normality with volumes of samples  $n > 500$ , is practically and theoretically insolvent. Procedures that allow to take into account the peculiarities of the error distribution in mathematical modeling and to carry out its diagnostics, are developed in the Non-Classical Error Theory of Measurements.*

**Key words:** *mathematical modeling, scientific test of empirical theory, regression and spectral analysis, non-classical error theory.*

**Аналіз прогностичних** досліджень показує, що економічна наука не передбачила жодної економічної кризи чи фінансового обвалу [1; 2; 3].

Невдачі економістів при проведенні реформ, а також при прогнозуванні їх наслідків, обумовлені, насамперед, їх схильністю переносити методи математичного моделювання, розроблені для фізичних наук, в економіку.

Те ж саме можна сказати і про педагогіку, і суспільні науки. Така схильність може приводити до провалів, оскільки є цілком ненауковою і зводиться до механічного і цілком некритичного застосування підходів, розроблених у фізиці, в чужій їй області, там, де умови отримання даних цілком відмінні від тих, де вони були сформульовані і розроблені.

**Проблему можливості** використання математичних методів, апробованих в технічних науках, для економічних досліджень вивчали відомі зарубіжні та вітчизняні вчені, серед яких варто відмітити роботи таких науковців:

Ж. Адамара, Г. Джеффріса, Ф. Кюдланда, О. Моргенштейна, У. Петті, К. Поппера, Е. Прескотта, А. М. Тихонова, Ф. А. фон Хайека та ін.

Однак, не зважаючи на висновки та рекомендації відомих вчених, низка дослідників і далі намагається використовувати методи математичного моделювання для планування і прогнозування в економічних, педagogічних та соціальних дослідженнях, що спричиняє їхні невдачі.

**Тому, метою нашої статті** є аналіз основних причин які зумовлюють неефективність використання методів математичного моделювання в економіці, педагогіці та соціальних дослідженнях.

**Обумовлені вище** невдачі характерні для багатьох досліджень. Наприклад, при аналізі коефіцієнту лінійного розширення деякого сплаву. Ця процедура проводиться в спеціальній лабораторії, всі фактори, що можуть впливати на метал усунені чи знаходяться під контролем, а температуру сплаву можна змінювати в будь-яких межах – від абсолютного нуля до точки плавлення зразка. Це, так званий, *активний експеримент*. В цьому разі залежність між температурою і довжиною зразка встановлюється цілком однозначно, так як усі фактори, що можуть впливати на результат, враховано. Далі методом регресійного аналізу знаходять шуканий коефіцієнт.

Ці, суцього фізичні наукові методи економісти, педагоги та представники соціальних наук, без будь-яких застережень переносять в свою галузь. В чому ж помилка? По-перше, ці фахівці, на відміну від фізиків, не можуть контролювати всі умови свого досліду, тобто, не можуть контролювати та якое впливати на ту соціальну сферу, у якій протікає явище. Отже, фізик проводить активний експеримент, де він може все контролювати, на відміну від пасивного, де контролювати нічого не можна. По-друге, на відміну від фізичного досліду, який є простим і тому контрольованим, досліджувані економічні, психолого-педагогічні чи соціальні явища є набагато складнішими.

При моделюванні складних явищ, залежних від дії множини факторів і намірів багатьох індивідів, всі причини, що визначають результат не можуть бути в потрібній мірі досліджені та виміряні. Про цілу низку факторів можна отримати тільки досить приблизну і недостатньо точну інформацію. Якщо дослідник отримує для досліджуваного явища деякі кількісні дані, то це зовсім не значить, що він отримав все, що потрібно, для справжнього наукового розгляду, тому, що деякі важливі фактори, при неконтрольованій ситуації, він може пропустити. В цьому випадку обґрунтовувати наукові теорії лише на тому, що дослідник може виміряти, при наявності факторів, які не піддаються вимірам, є ненауковим підходом з посиланням на те, що ми застосовуємо метод, добре випробуваний у фізиці.

Це одна з основних причин того, чому соціальні науки є в значній мірі неспроможними. Про це пише в своїй знаменитій лекції «Пам'яті Нобеля» лауреат Нобелівської премії з економіки Ф. А. фон Хайек [4]: «Якщо в

фізичних науках вважається загальнопризнаним і, ймовірно, з належним обґрунтуванням того, що будь-який важливий фактор, що визначає досліджуване явище, підлягає прямому спостереженню і виміру, то при вивченні таких складних явищ як ринок, що залежить від дій множини індивідів, ситуація інша: всі обставини, що визначають результат процесу, навряд чи можуть в повній мірі бути вивчені і виміряні... Довіра до явної зручності загальнопризнаних стандартів наукового дослідження, що забезпечується по видимості простими, але хибними теоріями, може привести до сумних наслідків».

Вченими доведено, що пасивний експеримент так чи інакше означає довільну трактовку факторних границь. Такий підхід, який видається в якості «наукового методу», може призводити не лише до парадоксальних, але й до трагічних, незворотних наслідків. Не брати до уваги окремі факторні ознаки, які не враховані і за-за складності явища, але можуть відображати його важливі особливості, це значить бути в приємній омані, у відповідності з якою лише враховані нами фактори є причинними. В такому разі завжди можна отримати «переконливі» підтвердження помилкової теорії на тому «непорушному фундаменті», що вона отримана на основі вимірів. Зауважимо, що піонером використання фізичних методів був економетрист № 1 У. Петті [4], який мав схильність використовувати процедури, які ефектно заявили про себе у фізиці. Фон Хайек назвав це сциентистською забобою (scientific prejudice) у своїй інаугураційній лекції в Зальцбургському університеті [5], яка перевидана інститутом Вальтера Ейкена, Фрайбург в Бресгау та Д. С. В. Мором, Тубінген, 1975.

Помилкові теорії формують якщо не небезпечні, то сумнівні практичні рішення. Не можна зводити наукові методи в економіці до сліпого застосування добре відпрацьованих методик у техніці. Така ж небезпека підстерігає і інші «складні» науки, такі як педагогіка, психологія, соціологія, історія та інші, яким, в більшій мірі, властиві scientific prejudice. До різних теорій, які створюються в таких науках, дуже і дуже доцільно застосовувати тест науковості емпіричної теорії, який сформулював К. Поппер ще у 1935 р. [6]. Застосування цього тесту показує, що багато із відомих теорій (навіть у фізиці), які позиціонуються нині як наукові, елементарно не проходять цього тесту, наприклад: теорія великого вибуху, теорія розширення Всесвіту чи навіть загальна теорія відносності.

Проте є ще один наслідок ненаукового переносу чисто фізичних підходів в економіку, педагогіку чи суспільні науки. Представники цих наук не враховують надзвичайно важливу обставину моделювання в пасивному експерименті, тобто, неможливість якось змінювати значення факторних ознак в тих чи інших межах. А це означає, що інтервали варіації факторів  $x_j$  в регресійній моделі [7]:

$$y_i = a_0 + a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \dots + a_k x_{ki} + e_i, \quad (1)$$

де  $a_j, j = 0, 1, \dots, k$  – шукані регресори,  $e_i$  – залишкові похибки моделі, є настільки малі, що відповідні зміни результативної ознаки  $y_i$ , мало відрізняється від похибок вимірів.

Це на практиці означає, що пасивна модель (1) фактично реагує максимум на 3–4 фактори, та і то, як правило, при великій кількості спостережень. Дія інших факторів, після оцінок похибок регресорів  $y_i$  належить до шумового поля. Водночас при розробці пасивних моделей найчастіше спостерігається протилежна тенденція, а саме – змагання дослідників в тому, хто більше факторів внесе в свою модель 10, 20 чи 50, звичайно без якої-небудь спроби оцінювання похибок регресорів. А це шлях до абсурду.

На жаль, при аналізі методів моделювання складних систем, ця обставина часто не викликає належної уваги [8]. Наочним прикладом марних намагань вводити в модель масу факторів є спроби довгострокового прогнозу погоди. Спочатку метеорологи вважали, що чим більше факторів вони будуть враховувати, моделюючи довгострокові прогнози, тим точнішими вони будуть. В дійсності потужні комп'ютери стали демонструвати цілковиту непередбачуваність матеріального світу, таку його поведінку, яка дивним чином розпадалась на цілком різні структури по складності. Іншими словами, рішення проблеми відносилось до типу некоректно поставлених (за Ж. Адамаром і А. М. Тихоновим) завдань [9–11].

Ця проблема є однією із основних при моделюванні складних систем [12]. Некоректність завдання означає, що незначні відмінності на вході алгоритму, викликають величезні відмінності на виході. Метеорологи напівжартівливо назвали це явище «ефект метелика». Це означає, що помах крильцями метелика на куполі Софіївського собору в Києві може викликати через деякий час жорстокий шторм у Москві. Така ситуація демонструє не лише математичну некоректність такого завдання. Вона означає дещо більш важливе, підтверджує висновки П. К'юрі про те, що невизначеність лежить в самій основі матеріальних процесів. Досліджуючи радіоактивний розпад Ra в Pb, К'юрі зробив висновок, що момент, коли наступить трансформація певного атома Ra не може бути передбачений впродовж 500000 років.

В світі атомного ядра відкидались закони причини і наслідку. І економіка чи суспільні науки не є виключенням. Подібні відкриття склались в нову науку: теорію хаосу, яка математично моделює ідеї, які фізики відчувають скоріше інтуїтивно, а саме: в більш високому порядку структури, яка досліджується, приймає участь безліч взаємодіючих явищ. Цей порядок не піддається передбаченню, він ближче до танцю ніж до рівняння і є в більшій мірі ознакою гармонії і інтелекту, а не свавілля.

Найбільш грандіозне відкриття теорії хаосу полягає в тому, що широко розповсюджена уява про те, що різні складні системи ведуть себе неоднаково,

не є правильним. Наприклад, біологам при дослідженні популяції саранчі, теорія хаосу пропонує взяти за зразок хаос в складному хімічному експерименті.

На перший погляд здається, що уява про «ефект метелика» зовсім далека від нашого життя. Що таке кілька пострілів в Сараєво літом 1914 р., – не що інше, в світовому масштабі, як помах крильця метелика, але вони привели до світової війни, і до політичного і економічного колапсу трьох світових імперій.

Саме такі шоківі потрясіння і викликають на думку Нобелівських лауреатів Е. Прескотта і Ф. Кюдланда як негативні, так і позитивні зміни в протіканні економічних процесів. Такі одиничні шоківі удари міняють все на нашій планеті. Проте, цим аномальним одиничним ударам ми не надаємо особливого значення. Вся наша математична мудрість в моделюванні зводиться не до вивчення глобальних вирішальних подій, а до дослідження тривіальних подій, які часто повторюються.

Прогнозувати поведінку складних систем, опираючись на переконання, що ми маємо достовірні вичерпні знання про них (яких по суті не маємо) і думати, що ми, опираючись на «науковий метод», можемо безпомилково формувати економіку чи соціальні процеси, це гірше ніж шарлатанство. В економіці, як різновидності суттєвої складності, так і в інших соціальних науках, ми ніколи не досягнемо повного знання, щоб вирішувати проблеми.

Якщо факторний підхід до дослідження економічних і соціальних процесів вичерпав себе, то що ж нам залишається? Відмовитись від моделювання таких процесів? – Зовсім ні. Потрібно найперше відмовитись від нашого прагнення лінералізувати досліджувані процеси в економіці, педагогічних чи соціальних дослідженнях, а досліджувати процес таким, як він є.

Для дослідження процесів будь-якої складності в Принстонському університеті США групою видатних математиків під керівництвом О. Моргенштейна розроблені процедури спектрального аналізу випадкових процесів і полів. Застосування цих процедур дозволяє змоделювати процес будь-якої складності як суперпозицію (танець) гармонічних складових із різного амплітудою  $A_i$ , частотою  $w_i$  і фазою  $y_i$ :

$$y_i = A_0 + \sum A_i \cos(w_i t + j_i) + e_i, \quad (2)$$

де  $A_0$  – деяка стала.

Звичайно, застосування моделей (2) вимагає спеціальних знань і потужного комп'ютерного забезпечення. Зате цей метод, виключаючи різні факторні процедури, найкращим чином дозволяє прогнозувати розвиток явища, з часом збільшувати точність передбачень.

Назвемо також і третю причину некоректного моделювання, це неадекватне уявлення про похибки спостережень  $e_i$  в (1) і  $e_i$  в (2). Стало дуже небезпечною догмою уявлення про нормальний характер як похибок  $e_i$ , так і похибок  $e_i$ ,

в формулах (1) і (2). Як показав знаменитий кембріджський професор Г. Джеффріс в роботах [13–15] при обсязі вибірок  $n > 500$  гіпотеза про нормальний характер похибок  $e_i$  і  $e_j$  теоретично, і практично є неспроможною. Правильність цього висновку перевірена в НАН України у фундаментальних дослідженнях [1; 16]. Неправильна уява про закон розподілу похибок може приводити до фінансових катастроф, як це сталося з корпораціями США «ЛТКМ» і «Амарант» [2; 17]. В роботі [10] наведені випадки, коли похибки приводили до аварій і катастроф. Процедури, які при математичному моделюванні дозволяють враховувати особливості закону розподілу похибок, розроблені в «Некласичній теорії похибок вимірів», створеній на факультеті кібернетики Міжнародного економіко-гуманітарного університету імені академіка Степана Дем'янчука у 2015 р. [3].

**Висновки:** При створенні моделей, методами, описаними в роботі [8], слід враховувати таке:

1. Регресійний аналіз розроблений у технічних науках в умовах активного експерименту передбачає цільові зміни факторних ознак в будь-яких межах. Однак, умови проведення економічних, педагогічних, соціальних досліджень цілком відмінні від умов фізичного експерименту, де всі фактори знаходяться під контролем. В таких, дослідженнях, які є набагато складнішими, не можуть бути враховані всі фактори, що впливають на явище. Тому регресійний моделі в названих галузях досліджень, можуть давати лише приблизний, проміжний результат, і не можуть грати роль наукового методу чи бути основою якоїсь теорії. Теорії, побудовані на таких моделях не витримують тесту науковості емпіричної теорії К. Поппера.

2. При пасивних експериментах, а таку властивість мають більшість досліджень в економіці, педагогії і соціальних науках, оптимальна кількість регресорів має бути не більше чотирьох з обов'язковою оцінкою їх похибок для того, щоб знати, які із них можна віднести до шумового поля.

3. Єдиним науковим методом математичного моделювання динамічних чи часових рядів в економічних, педагогічних, психологічних, соціальних дослідженнях є спектральний аналіз, прикладні аспекти якого розроблені в Принстонському університеті США під керівництвом О. Моргенштерна.

4. Прагнучи до простоти, дослідники часто помилково вважають, що похибки спостережень  $e_i$  в (1) і  $e_j$  в (2) обов'язково мають бути гаусовими. Це груба помилка, особливо в наші часи коли внаслідок комп'ютеризації і автоматизації експериментів обсяги вибірок сягають тисяч, а то і десятки тисяч спостережень. Згідно з дослідженнями кембріджського професора Г. Джеффріса при обсягах вибірок  $n > 500$  гіпотеза нормальності є неспроможною. Цей висновок отримав підтвердження в роботах [1; 3; 16; 18].

Процедури, які при математичному моделюванні дозволяють враховувати особливості закону розподілу похибок і провести його діагностику, розроблені в роботах [3; 19].

**15.** Джунь И. В. Математическая обработка астрономической и космической информации при негауссовых ошибках наблюдений: автореферат дис. на соиск. уч. степени докт. физ.-мат. наук: спец. 01.03.01 «Астрометрия и небесная механика». / И. В. Джунь. – Киев, ГАО НАН Украины, 1992. – 46 с. **16.** Талеб Н. Н. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости. / Н. Н. Талеб // Пер. с англ. В. Сонькина, А. Бердычевского, М. Костиновой, О. Попова. Под редакцией М. Тюнькиной. – М. : Колибри, Азбука – Аттикус, 2012. – 528 с. **19.** Джунь И. В. Неклассическая теория погрешностей измерений. / И. В. Джунь. – Ровно : Естери, 2015, – 168 с. **1.** Фон Хайек Ф. А. Претензии знания. Лекция памяти Нобеля (11.12.1974, г. Зальцбург, Австрия) / Ф. А. фон Хайек. Вопросы философии, 2003. – № 1. – С. 164–167. **3.** Von Hajek F. A. Die Irrtumer des Konstruktivismus und Grundlagen legitimer Kritik gesellschaftlicher Gebilche, Munich, 1970. **4.** Поппер К. Логика и рост научного знания. Избранные работы / К. Поппер – М. : Прогрес, 1989 – 485 с. **5.** Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа / С. Г. Радченко. – К. : «Корнійчук», 2011. – 376 с. **6.** Радченко С. Г. Анализ методов моделирования сложных систем / С. Г. Радченко // Математичні машини і системи, 2015. – № 4. – С. 123–127. **7.** Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач. / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М. : Наука, 1979. – 284 с. **8.** Пархомчук Д. М. Аналітичний розв'язок некоректних задач динамічними методами / Д. М. Пархомчук, Ю. О. Тимошенко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 4. – С. 97–103. **9.** Гутенмахер Л. И. О динамическом методе решения некорректных задач / Л. И. Гутенмахер, Ю. А. Тимошенко, С. Т. Тихончук. – Докл. АН СССР. 1977 – 237. – № 4, – С. 776–778. **10.** Петров Ю. П. Введение в теорию инженерных расчетов, учитывающую вариации параметров исследуемых объектов / Ю. П. Петров, И. А. Петров. – Спб. : БХВ – Петербург, 2014 – 272 с. **11.** Jeffreys H. The Law of Errors and the Combinations of Observations // Philos. Trans. Roy. Soc. London, 1937, ser. A., No 237, pp. 231–271. **12.** Jeffreys H. The Law of Errors in the Greenwich Variation of Latitude observations Mon. Not. of the RAS. – 1937, vol. 99, № 9, pp. 703–709. **13.** Jeffreys H. Theory of Probability. Sec. Edition. – Oxford, 1940. – 468 p. **14.** Джунь И. В. Анализ параллельных широтных наблюдений, выполненных по общей программе: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. Наук : спец. 01.03.01 «Астрометрия и небесная механика» / И. В. Джунь. – К. : Институт математики АН УССР, 1974. – 19 с. **17.** Taleb N. N. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. – New York : Random House. – 2007. – 400 p. **18.** Джунь И. В. О распределении погрешностей многократных наблюдений большого объема / И. В. Джунь // Измерительная техника. – 2012. – № 4. – С. 395–398. **20.** Джунь Й. В. Про дві стратегії діагностики математичних моделей в економіці на основі статистичного аналізу розподілів залишкових похибок / Й. В. Джунь. – Journal of modern Science, 2017, vol. 3/34, Warsaw, pp. 269–176.

Рецензент: Рецензент: д.е.н., професор Борейко В. І.