

Джунь Йосип Володимирович, д.фіз-мат.н., професор, завідувач кафедри математичного моделювання (Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука, м. Рівне), josif-june@rambler.ru

ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ПЕДАГОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

***Анотація.** У статті досліджено основні причини невдач представників гуманітарних наук, зокрема педагогічних, у відповідності із зауваженнями відносно науковості експериментів, висловлених лауреатом «Нобелівської премії» фон Хаєком Ф. А. Розкрито, що основною причиною помилкових підходів при моделюванні в педагогічних дослідженнях є незрозуміння дослідниками різниці між активним і пасивним експериментами і довільна трактовка ними факторних границь внаслідок ненаукового переносу фізичних і технічних підходів в практику досліджень. Визначено, що при моделюванні поведінки складних систем рекомендовано застосовувати спектральний аналіз. Обґрунтовано необхідність дотримання адекватних уявлень про закон розподілу залишкових похибок моделей, які при обсягах вибірок $n > 500$, як правило, не є гаусовими.*

***Ключові слова:** науковість моделювання за Ф. А. Хайєком, активний і пасивний експерименти, залишкові і аномальні похибки, неklasичне моделювання.*

Dzhun Yosyp Volodymyrovych, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematical Modeling (Academician Stepan Demianchuk International University of Economics and Humanities, Rivne), josif-june@rambler.ru

GENERAL ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELING PROBLEMS IN PEDAGOGICAL RESEARCH

Abstract.

***Introduction.** The main causes of failures of the social sciences representatives, in particular pedagogical, during mathematical modelling are analysed in the article. It is shown that their main reason is the tendency of teachers-researches to transfer modelling methods developed specifically for the physical sciences to their activity. Such an inclination is a direct violation of the recommendations made by von Hayek F.A., the Nobel Prize winner. Ineffective modelling in pedagogy is caused, first of all, by a misunderstanding*

of the difference between active and passive experiments, which leads to an arbitrary interpretation of the number of factors acting in the mathematical model and the boundaries of their action.

Purpose. To draw the attention of teacher-researchers to the basic, typical causes of incorrect modelling when performing scientific works.

Methods. Due to the fact that the regression analysis in pedagogical research has all the signs of a passive experiment, it is recommended to use spectral analysis when studying the dynamics of the studied phenomena. It allows to simulate processes of any complexity and in the best way to carry out forecast accounts.

Results. 1. It is shown that in modelling complex objects, namely, the studied phenomena in pedagogy dependent on many factors and intentions of many individuals. These are all the reasons that determine the result, it is impossible to take into account, research and measure to the right extent.

2. It is possible to get only very approximate and insufficiently accurate information about number of factors influencing a productive attribute.

3. Some important factors in an uncontrolled situation we can skip without realizing their action. If we have any quantitative data in a passive experiment, this does not mean at all that we have everything that is needed for a real scientific consideration. In this case, substantiating the results or scientific theory only on what the researcher can measure, if there are factors that are not controlled, and some of them are possibly unknown, is ordinary obscurantism with the reference to the fact that we used a method well tested in physics.

Originality. This study for the first time focuses on the importance of understanding the concepts of active and passive experiments, is a prerequisite for correct modelling in pedagogical research.

Conclusion. The factor approach in pedagogical research does not provide reliable forecasting due to the passive nature of the experiment. In addition, it must be remembered that the residual errors with any modelling method, as a rule, are not Gaussian for the observation volumes $n > 500$ and for their processing non-classical procedures must be applied, considered in the monograph.

Key words: science of Hayek modelling, active and passive experiments, residual and anomalous errors, non-classical modelling.

Проблемам застосування математики в педагогічних і, в цілому, гуманітарних дослідженнях, присвячено цілу низку фундаментальних і оригінальних розробок [1–7]. Можна сказати, що ця проблематика є безмежною і до того ж швидко розвивається. Але на загальному фоні успішного застосування математики є прикрі провали [8], що вимагає більш детального розгляду їх причин.

Невдачі представників суспільних наук, при проведенні досліджень, обумовлені, насамперед, їх схильністю переносити методи математичного

моделювання, розроблені для фізичних експериментів в свою галузь. Така схильність може привести до провалів, катастроф [8; 9], оскільки є цілком ненауковою і зводиться до механічного і некритичного застосування методів, розроблених для фізичних і технічних наук з контрольованими умовами спостережень, в чужих їм областях, там, де умови отримання даних не контролюються і повністю відмінні від тих, де ці методи були сформульовані і розроблені.

Проблему можливості використання математичного моделювання, розробленого і апробованого в технічних науках, в суспільних і економічних дослідженнях, вивчали відомі вчені, серед яких О. О. Моргенштерн [10], К. Поппер [11], А. М. Тихонов [12], Ф. А. фон Хайк [9; 13; 14], та ін. Однак, висновки і рекомендації цих вчених, на жаль, мало відомі дослідникам-педагогам, що визначило актуальність нашого дослідження.

Метою нашої статті є дослідження основних причин невдач представників гуманітарних наук, зокрема педагогічних, у відповідності із зауваженнями відносно науковості експериментів і обґрунтування необхідності дотримання адекватних уявлень про закон розподілу залишкових похибок моделей, які при обсягах вибірок $n > 500$, як правило, не є гаусовими.

Основною причиною неефективного використання методів математичного моделювання в педагогічних дослідженнях є нерозуміння різниці між активним і пасивним експериментами.

В активному експерименті, який реалізується у технічних галузях, усі причини, які можуть впливати на досліджуваний зразок, враховані або знаходяться під контролем. Наголосимо ще раз: усі причини. Наприклад, коефіцієнт лінійного розширення сталі визначається в спеціальній лабораторії, на ізольованому від усіх зовнішніх впливів стенді. А головним є те, що температуру сплаву можна *активно* змінювати від абсолютного нуля до точки плавлення. Далі, методом регресійного моделювання, який і створений для обробки експериментів з контрольованими факторними ознаками, знаходиться шуканий коефіцієнт. Тобто, *суть активного експерименту* в тому, що усі фактори, які впливають на зразок, враховані, контролюються і ми можемо *активно змінювати* їх дію в необхідних межах [15].

Дані пасивного дослідження отримують не в лабораторії, де все можна контролювати і змінювати дію факторів в потрібних межах. У суспільних науках, по-перше, об'єкти дослідження є набагато складнішими, ніж зразок сталі, а по-друге, із-за цього ми маємо досить неповну і приблизну інформацію про дії факторних причин і навіть можемо і не здогадуватись про дію деяких з них. Наприклад, при вивченні причин пропусків занять учнями ми маємо лише фіксуємо статистику, та і та обмежена і неповна.

А це значить, що:

1. При моделюванні складних об'єктів, а саме такими є досліджувані явища в педагогіці і які залежать від множини факторів і намірів багатьох

індивідів, усі причини, що визначають результат, не можна в потрібній мірі врахувати, дослідити та виміряти;

2. При цілій низці факторів, що впливають на результативну ознаку, можна отримати тільки досить приблизну і недостатньо точну інформацію.

3. Деякі важливі фактори, при неконтрольованій ситуації, можна пропустити, не здогадуючись про їх дію. Тобто, якщо ми маємо кількісні дані в пасивному експерименті, то це зовсім не означає, що маємо все, що потрібно для справжнього наукового дослідження. У цьому випадку обґрунтувати результати чи наукову теорію лише на тому, що дослідник може виміряти, при наявності факторів, які не контролюються, а деякі з них, можливо, є невідомими, – є звичайним обскурантизмом з посиланням на те, що застосовано метод, добре випробовуваний у фізиці.

Про це написав лауреат Нобелівської премії з економіки Ф. А. фон Хайек: «Якщо в фізичних науках вважається загальноприйнятим, 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, що залежать від дій множини індивідів, ситуація інша: усі обставини, які визначають результат процесу, навряд чи в повній мірі вивчені і виміряні... Довіра до явної зручності загально призначених стандартів наукового дослідження, що забезпечується по видимості простими, але хибними теоріями, може привести до сумних наслідків» [13]. Це зауваження фон Хайєка в повній мірі зберігає силу і в галузі педагогічних досліджень, оскільки педагоги і психологи, як правило, обґрунтовують своє моделювання на статистиці даних, які є результатом неконтрольованого за факторами, а значить і недосконалого пасивного експерименту. Фон Хайек обґрунтував, що такий експеримент означає вкрай довільну трактовку факторних границь [14].

Такий підхід, який видається як «науковий метод» може призводити, не лише до парадоксальних, але і до трагічних, незворотних наслідків, які через довільну трактовку факторних границь довели до краху дві інвестиційні корпорації LTKM і «Амарант» в США [8]. Не брати до уваги окремі фактори, не враховані через складність явища, але які можуть відображати його важливі особливості, це значить бути в приємній омани, відповідно до якої, лише враховані нами фактори є причинними. У цьому разі завжди можна отримати «переконливі» підтвердження помилкової теорії на тому «непорухликому фундаменті», що вона отримана на основі вимірів.

Зауважимо, що піонером використання технічних методів для економічних досліджень був економетрист № 1 У. Петті [13], всього на всього старший колега сера І. Ньютона в Royal Academy of Sciences, який мав схильність використовувати процедури, що ефектно заявили про себе у фізиці. Фон Хайек назвав це «сциентистським забобоном» (scientistic prejudice) у своїй інавгураційній лекції [13]. Така небезпека підстерігає саме «складні»

науки, такі як педагогіка, психологія, соціологія, історія та ін., яким у великій мірі властиві *scientific prejudice*. До теорій, які створюються в таких науках дуже доцільно застосовувати *тест науковості* емпіричної теорії, який сформулював К. Поппер ще у 1935 р. [11]. Застосування цього тесту показує, що деякі із відомих теорій, навіть у фізиці і астрономії, які позиціонуються нині як наукові, елементарно не проходять цього тесту, наприклад, теорія великого вибуху, теорія розширення Всесвіту, чи, навіть, загальна теорія відносності.

Внаслідок ненаукового переносу фізичних підходів в практику педагогічних досліджень часто *не враховується надзвичайно неприємна обставина пасивного експерименту*, а саме неможливість якось змінювати значення факторних ознак в тих чи інших межах. Педагог, на відміну від фізика, не може забезпечити всі необхідні технічно-дослідницькі умови постановки досліду, тобто, він не може в необхідній мірі контролювати ту соціальну множину суб'єктів, у якій відбувається досліджуване ним явище. А це означає, що інтервали варіації k факторних ознак x_{ji} ($j=1, 2, \dots, k; i=1, 2, \dots, n$ – число спостережень) в регресійній моделі [16]:

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

де a_j – шукані регресори, а e_i – залишкові похибки моделі, є настільки малі, що відповідні цим факторам зміни результативної ознаки y_i знаходяться в межах шумового поля. Це означає, що *пасивна модель (1) фактично реагує на 2–3 фактори x_{ji}* , та і то за великої кількості спостережень. Тобто, лише 2–3 регресори, як правило, піднімаються над рівнем шумового поля. У цьому випадку, дуже важливо визначити стандартні похибки оцінок регресорів, щоб знати, які з них можна віднести до шумового поля. Та в цьому відношенні педагог-дослідник, чи психолог попадає у скрутне становище, оскільки дуже рідко в якомусь підручнику чи практикуму із статистичних методів для педагогів і психологів, наведено прості матричні процедури для обчислення стандартних і граничних похибок регресорів із встановленим рівнем значущості чи ризику. Тому, при використанні пасивних регресійних моделей типу (1), в педагогів, психологів, особливо в економістів спостерігається протилежна і безглузда тенденція: змагання дослідників тому, хто більше факторів внесе в свою модель 10, 20 чи навіть 50, без будь-якої спроби обчислення граничних похибок регресорів. Обчислення таких похибок дозволить викинути усі незначні фактори і істотно спростити модель через те, що ми виключаємо із неї непотрібну гру з шумами. Звичайно, після відсіювання всіх незначних факторів x_{ji} модель (1) необхідно перерахувати заново, залишивши в дії лише значимі фактори. Проте, завжди потрібно пам'ятати, що при моделюванні складних явищ, залежних від дії багатьох факторів і намірів множини індивідів у

педагогіці, всі причини, які визначають результат, не можуть бути в належній степені пізнані і виміряні. Про низку факторів можна отримати досить приблизну і неточну інформацію. Якщо ми отримали для досліджуваного явища деякі кількісні дані, це зовсім не значить, що ми маємо все, що потрібно для справжнього наукового дослідження. Обґрунтовувати певні висновки або теорії на тому, що ми можемо виміряти, при наявності факторів, які вимірам не піддаються – це вже не просто ненауковий підхід, а очевидна профанація. Але саме так часто і «моделюють», і трактують факторні границі в складних процесах, про що повідомляє в своїх роботах Ф. А. Хайєк [9; 13; 14]. У фізичних дослідах такого «моделювання» нема. Захоплення великою кількістю змінних в пасивному експерименті – це шлях в нікуди. Наочним прикладом є спроби довгострокового прогнозування погоди. Спочатку метеорологам здавалось, що чим більше факторів вони будуть враховувати при моделюванні погодних умов, тим точнішим буде прогноз. Насправді ж, потужні комп'ютери стали демонструвати цілковиту непередбачуваність матеріального світу, таку його поведінку, яка парадоксально розпадалась на певні структури за складністю. Тобто, рішення відносилось до типу некоректно поставлених, за А. Н. Тихоновим [12], завдань, коли незначні відмінності на вході алгоритму, викликали величезні відмінності на виході. Метеорологи жартівливо назвали це явище «ефектом метелика», коли, наприклад, коливання повітря, обумовлене крильцями метелика на куполі Софійського собору в Києві, можуть викликати, через деякий час шторм у Москві. Цей парадокс не піддається передбачуваності, він нагадує, скоріше, танок і ближче до нього, ніж до рівняння, і ще в більшій мірі має прикмети гармонії та інтелекту, а не свавілля. Такі уявлення склалися в сучасну теорію хаосу, найбільш грандіозне відкриття яке полягає в тому, що розповсюджене уявлення про те, що різні складні системи поведуть себе неоднаково, не є правильним. Наприклад, при моделюванні нестійкості в популяціях сарани, теорія хаосу пропонує взяти за взірць хаос у складному хімічному експерименті. На перший погляд здається, що уявлення про «ефект метелика» надзвичайно далеке від реалій життя. Чим були кілька пострілів в Сараєво в масштабі всієї Планети – не що інше, як помахом метелика, але вони призвели до світової війни і до перебудови всього світу.

Якщо факторний підхід, який моделюється формулою (1), не є цілком спроможним, то що ж залишається педагогам і психологам? Відмовитись від математичного моделювання? Зовсім ні! *Потрібно, насамперед, відмовитись від нашого наміру лінереалізувати усі процеси в педагогічних дослідженнях, як це впливає з теорії регресійного аналізу. Цікаві думки з цього приводу викладені в роботі [17].*

При моделюванні складних систем необхідно досліджувати процес таким яким він є і моделювати його у вигляді суми *циклічних змінних*. З цієї метою,

в Принстонському університеті США групою видатних математиків під керівництвом О. О. Моргенштерна були розроблені процедури спектрального аналізу випадкових процесів [18]. Їх застосування дозволяє змодельовати процес високої складності як супер позицію n гармонічних складових із різною амплітудою A_i , частотою w_i фазою φ_i , які розвиваються у часі t :

$$y_t = a_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cdot \cos(w_i t + \varphi_i) + e_t, \quad (2)$$

де a_0 – деяка стала; e_t – залишкові похибки моделі; $t_j - t_0 \geq 80$ значень.

Спектральний аналіз ґрунтується на солідній математичній основі, а його розвиток і застосування є подією першорядного значення і безсумнівно буде сприяти переходу гуманітарних наук від інтуїтивно-орієнтованого, обмеженого підходу до більш глибокого і професійного проникнення в суть досліджуваних явищ. Звичайно, застосування моделі (2) вимагатиме спеціальних знань і належного обчислювального забезпечення, яке для нинішніх персональних комп'ютерів не складе якоїсь проблеми. Модель (2), виключаючи різні факторні процедури, найкращим чином дозволяє робити прогнози розвитку явища, збільшуючи їх точність із зростанням числа спостережень.

Найкращим теоретичним і практичним керівництвом із спектрального аналізу є відома книга соратників О. О. Моргенштерна – К. Гренджера та М. Хатанаки [18]. Для попереднього ознайомлення з методологічними основами спектрального аналізу можна звернутись до роботи [19], а по теорії передбачення до роботи [20].

Наведемо ще одну причину некоректного моделювання – це неадекватне уявлення про закон розподілу похибок спостережень e_i і e_t в формулах (1–2). Прагнучи до простоти, педагоги часто помилково вважають, що усі сукупності підкоряються закону Гауса. Проте, для багатьох вибірок значень e_i чи e_t це припущення не є законним. В наш час, у зв'язку з різким збільшенням обсягів спостережень через їхню автоматизацію, стає небезпечною догмою класичне уявлення про нормальність e_i і e_t . Професор Кембріджського університету Г. Джеффріс, спираючись на відомий експеримент К. Пірсона [24], переконливо показав у роботах [21–23], що при обсязі вибірок $n > 500$ гіпотеза нормальності і теоретично, і практично є неспроможною. Правильність цього висновку показано в фундаментальних дослідженнях [25–28]. Це означає, що класичні процедури моделювання і їх програмне забезпечення стають непридатними при великих вибірках, які мають зазвичай біля 1–20 % викидів. Огляд практичних задач, у яких присутні викиди, наведений в роботах [29; 30], інші огляди – в [31–33], англломовні – в монографії [34] та в статтях [35; 36]. Процедури, обчислень, які дозволяють

проводити ефективну обробку даних при не гаусових похибках спостережень, розглянуті з належними прикладами в монографії [27], підготовленій на факультеті кібернетики Міжнародного економіко-гуманітарного університету імені академіка Степана Дем'янука. В більш загальному вигляді ця проблема висвітлена в роботі [37].

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна зробити висновок, що основна проблема застосування регресійного аналізу в педагогічних дослідженнях, полягає в тому, що в них цей метод втрачає необхідні риси наукового лабораторного експерименту, а саме: 1) предмет педагогічного дослідження (учень, педагог, школа, тощо) набагато складніший ніж лабораторний зразок; 2) значення діючих на предмет дослідження факторів не можна активно змінювати в необхідних межах, як це робиться у лабораторному експерименті; 3) про фактори, які можуть впливати на досліджуване явище у нас є лише приблизна, неповна інформація без впевненості в тому, що ми їх усі врахували і тримаємо під контролем, як у фізичному експерименті. В цілому, перенесення регресійного моделювання в гуманітарну сферу, коли не виконується ні перше, ні друге, ні третє із зазначених умов, не можна в повній мірі вважати науковим підходом, а тільки таким, який дозволяє отримати попередні і досить приблизні дані.

2. Факторний підхід в педагогічних дослідженнях не забезпечує належного прогнозування розвитку досліджуваного явища внаслідок пасивного характеру експерименту. Найкращим, в наш час, методом моделювання і прогнозування рядів динаміки є спектральний аналіз з тими: обґрунтуванням, підходами і рекомендаціями, які викладені в роботі [18].

3. Потрібно пам'ятати, що ХХІ століття – це епоха великих вибірок, що, у відповідності з теорією кембріджського професора Г. Джеффриса, означає істотно ненормальний характер їх похибок [23], а значить і непридатність для їх обробки, існуючих нині класичних методів математичного моделювання і їх програмного забезпечення. Великі вибірки мають, як правило [1–20 %] аномальних похибок, які призводять до значних додатніх ексцесів їх розподілу. З цього приводу, відомий професор П. В. Новицький зазначив: «Особливістю розподілів з великим додатнім ексцесом є те, що розсіювання оцінок координати центра та середня квадратична похибка, які визначаються за експериментальними даними, катастрофічно зростають з ростом ексцесу. Стосовно аналізу таких розподілів були запропоновані методи, так званого, «робастного оцінювання», яке зводиться до призначення різних ваг спостереженням в залежності від їх відхилення від центру і багато із авторів цього модного напрямку в статистиці пропонували все нові евристичні методи отримання цих ваг» [27, с. 4].

«У роботі [26] запропоновано і розроблено зовсім інший метод «робастного» оцінювання уточненої координати центру, коли ваги призначаються не евристично, а строго аналітично розробленим методом. При цьому

виявилось, що вагова функція є дуже крутою, а знак її кривизни залежить від значення ексцесу розподілу. Це наукове відкриття перетворює «робастне оцінювання» із евристичних спроб в дійсну науку» [27, с. 4]. Для того, щоб використовувати методи обробки даних при негаусових похибках, необхідно звернутися до роботи [23, розд. 5, 7], яка витримала в Британії вже 9 перевидань, і до робіт [27; 28], у яких неklasичні процедури інтелектуального аналізу даних і їх застосування, викладені в повному обсязі. Необхідно також вводити ці нові методи у навчальний процес, знайомити з ними студентів і аспірантів. Але, на превеликий жаль, практично у всіх навчальних закладах України, викладаються (і програмуються) процедури інтелектуального аналізу в основному на методі, розробленому більше ніж 200 років тому, фундаментальні аксіоми якого, часто не відповідають нинішнім реаліям.

Список використаних літературних джерел

1. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения. М.: Мир, 1969. 468 с.
2. Бигинас Б. П. Многомерный анализ в педагогике и педагогической психологии. Вильнюс, 1971.
3. Стивенс С. С. Математика, измерение и психофизика. В кн. «Экспериментальная психология». Т. 1. М.: И-Л, 1960.
4. Гласс Дж., Стенли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. М.: «Прогресс», 1976. 478 с.
5. Шляпенбох В. Э. Проблемы достоверности статистической информации в социологических исследованиях. М.: Статистика, 1973.
6. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. Главная редакция физико-математической литературы. М.: Наука, 1979. 448 с.
7. Tukey J. W. Unsolved Problems of Experimental statistics. *Journal of the American Statistical Association*. 1954. Vol. 49. № 269. P. 706–731.
8. Талей Н. Н. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости. Пер. с англ. Под ред. М. Тюнькиной. М.: Колибри, Азбука – Аттикус, 2012. 528 с.
9. Хайек Ф. А. Контрреволюция науки. Этюды о злоупотреблении разумом. М.: ОГИ, 2003. 288 с.
10. Моргенштейн О. О. О точности экономико-статистических наблюдений. М.: Статистика, 1968. 298 с.
11. Попер К. Логика и рост научного знания. Избранные работы. М.: Прогресс, 1989. 485 с.
12. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 284 с.
13. Фон Хайек Ф. А. Претензии знания. Лекция памяти Нобеля (11.12.1974, Зальцбург, Австрия). *Вопросы философии*. 2003. № 1. С. 164–167.
14. Von Hajek F. A. Die Irrtumer des Konstruktivismus und Grundlagen legitimer Kritik gesellschaftlicher Gebilde. Munich, 1970.
15. Бородюк В. П., Чирков И. М. Получение математического описания методами пассивного и активного экспериментов. Труды МЭИ. Вып LI, 1963.

16. Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа. К.: «Корнійчук», 2011. 376 с.
17. Радченко С. Г. Анализ методов моделирования сложных систем. *Математичні машини і системи*. 2015. № 4. С. 123–127.
18. Гренджер К., Хатанака М. Спектральный анализ временных рядов в экономике. М.: Статистика, 1972. 312 с.
19. Ященко Л. О. Методологічні основи спектрального аналізу на прикладі дослідження чисельності населення України. *Статистика України*. 2015. № 1. С. 4–9.
20. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения; [избранные труды, сост. Ю. В. Яковец]. М.: Экономика, 2002. 767 с.
21. Jeffreys H. The Law of Errors and Combination of Observations. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*. Ser. A. 1937. № 237. P. 231–271.
22. Jeffreys H. The Law of Errors in the Greenwich Variation of Latitude observations. *Mon. Not. of the RAS*. 1939. Vol. 99. № 9. P. 703–709.
23. Jeffreys H. *Theory of Probability*. Sec. Edition. Oxford, 1940. 468 p.
24. Pearson K. On the Mathematical Theory of Errors of Judgment with special Reference to the Personal Equation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1902. Ser. A. Vol. 198. P. 235–296.
25. 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». К.: Институт математики АН УССР, 1974. 19 с.
26. 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». Киев, ГАО НАН Украины, 1992. 46 с.
27. Джунь И. В. Неклассическая теория погрешностей измерений. Ровно: Естеро, 2015, 168 с.
28. The Non-Classical Errors Theory of Measurement spar Iosif Dzhun at al. Vendupar: Amazon. Com Services LLS, 2020. 200 p.
29. Hampel F. R. A General Qualitative Definition of Robustness. *The Annals of Mathematical statistics*. 1971. Vol. 42. № 6. P. 1887–1986.
30. Hampel F. R. Robust Estimations: a condensed Partial Survey. *Zeitschrift for Wahrscheinlichkeits theorie and verw. Geb.* 1973. Bd. 27. № 5. Z. 87–104.
31. Ершов А. А. Стабильные методы оценки параметров (обзор). *Автоматика и телемеханика*. 1978. № 8. С. 66–100.
32. Смоляк С. А. Устойчивые методы оценивания: (Статистическая обработка неоднородных совокупностей). М.: Статистика, 1980. 208 с.
33. Стогов Г. В., Макшанов А. В., Мусаев А. А. Устойчивые методы обработки результатов измерений. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1982. № 8. С. 3–46.
34. Huber P. J. *Robust Statistical Procedures*. Philadelphia: SIAM, 1977.
35. Hogg. R. V. Adaptive Robust Procedures: A partial review and some suggestions for future applications and theory. *Journal to the American Statistical Association*. 1974. Vol. 69. № 348. P. 909–923.
36. Barnett V., Lewis T. *Outliers in Statistical Data*. Chichester, New York: John Wiley & Sons, 1978.

37. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации. М.: Наука, Физматлит, 1995. 336 с.

References

1. Atkinson R., Bauer G., Kroters E. (1969). Vvedenie v matematicheskuyu teoriyu obucheniya. M.: Mir (In Russian).

2. Bitinas B. P. (1971). Mnogomerniy analiz v pedagogike i pedagogicheskoy psihologii. Vilnyus (In Russian).

3. Stivens S. S. (1960). Matematika, izmerenie i psihofizika. V kn. «Eksperimentalnaya psihologiya». T. 1. M.: I-L (In Russian).

4. Glass Dzh., Stenli Dzh. (1976). Statisticheskie metody v pedagogike i psihologii. M.: «Progress» (In Russian).

5. Shlyapenboh V. E. (1973). Problemyi dostovernosti statisticheskoy informatsii v sotsiologicheskikh issledovaniyah. M.: Statistika (In Russian).

6. Vapnik V. N. (1979). Vosstanovlenie zavisimostey po empiricheskim dannym. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury. M.: Nauka (In Russian).

7. Tukey J. W. (1954). Unsovled Problems of Experimental statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 49, 269, 706–731.

8. Taleb N. N. (2012). Chernyy lebed. Pod znakom nepredskazuemosti. Per. s ang. pod red. M. Tyunkinoy. M.: Kolibri, Azbuka – Attikus (In Russian).

9. Hayek F. A. (2003). Kontrevolyutsiya nauki. Etyudyi o zloupotreblenii razumom. M.: OGI (In Russian).

10. Morgenshteyn O. O. (1968). O tochnosti ekonomiko-statisticheskikh nablyudeniy. M.: Statistika (In Russian).

11. Poper K. (1989). Logika i rost nauchnogo znaniya. Izbrannyye raboty. M.: Progress (In Russian).

12. Tihonov A. N., Arsenin V. Ya. (1979). Metodyi resheniya nekorrektnykh zadach. M.: Nauka (In Russian).

13. Fon Hayek F. A. (2003). Pretenzii znaniya. Lektsiya pamyati Nobelya (11.12.1974, Zaltsburg, Avstriya). *Voprosyifilosofii (Questions of philosophy)*, 1, 164–167 (In Russian).

14. VonHajekF. A. (1970). Die Irrtumerdes Konstruktivismus und Grundlagenlegitimer Kritikgesell schafilicher Gebilche. Munich.

15. Borodyuk V. P., Chirkov I. M. (1963). Poluchenie matematicheskogo opisaniya metodami passivnogo i aktivnogo eksperimentov. Trudyi MEI. Vyip LI (In Russian).

16. Radchenko S. G. (2011). Metodologiya regressionnogo analiza. K.: «Kornlychuk» (In Russian).

17. Radchenko S. G. (2015). Analiz metodov modelirovaniya slozhnykh system (In Russian). *Matematychni mashyny i systemy(Mathematical machines and systems)*, 4, 123–127 (In Ukrainian).

18. Grendzher K., Hatanaka M. (1972). Spektralnyiy analiz vremennykh ryadov v ekonomike. M.: Statistika (In Russian).

19. Yashchenko L. O. (2015). Metodolohichni osnovy spektralnoho analizu na prykladi doslidzhennia chyselnosti naselennia Ukrainy. *Statystyka Ukrainy (Statistics of Ukraine)*, 1, 4–9 (In Ukrainian).

20. Kondratev N. D. (2002). Bolshie tsykly kon'yunktury i teoriya predvideniya; [izbrannyye trudyi, sost. Yu. V. Yakovets]. M.: Ekonomika (In Russian).

21. Jeffreys H. (1973). The Law of Errors and Combinations of Observations. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, Ser. A, 237, 231–271.
22. Jeffreys H. (1939). The Law of Errors in the Greenwich Variation of Latitude observations. *Mon. Not. of the RAS*, 99, 9, 703–709.
23. Jeffreys H. (1940). Theory of Probability. Sec. Edition. Oxford.
24. Pearson K. (1902). On the Mathematical Theory of Errors of Judgment with special Reference to the Personal Equation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Ser. A, 198, 235–296.
25. Dzhun I. V. (1974). Analiz parallelnykh shirotnykh nablyudenyi, vyipolnennykh po obschey programme: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. fiz.-mat. nauk: spets. 01.03.01 «Astrometriya i nebesnaya mehanika». K.: Institut matematiki AN USSR (In Russian).
26. Dzhun I. V. (1992). Matematicheskaya obrabotka astronomicheskoy i kosmicheskoy informatsii pri negaussovykh oshibkakh nablyudenyi: avtoreferat dis. na soisk. uch. stepeni dokt. fiz.-mat. nauk: spets. 01.03.01 «Astrometriya i nebesnaya mehanika». Kiev, GAO NAN Ukrainyi (In Russian).
27. Dzhun I. V. (2015). Neklassicheskaya teoriya pogreshnostey izmereniy. Rovno: Estero (In Russian).
28. The Non-Classical Errors Theory of Measurements par Iosif Dzhunatal. (2020). Vendupar: Amazon. Com Services LLS.
29. Hampel F. R. (1971). A General Qualitative Definition of Robustness. *The Annals of Mathematical statistics*, 42, 6, 1887–1986.
30. Hampel F. R. (1973). Robust Estimations: a condensed Partial Survey. Zeitschrift for Wahrscheinlichkeits theorie and verw. *Geb*, 27, 5, 87–104.
31. Ershov A. A. (1978). Stabilnyie metodyi otsenki parametrov (obzor). *Avtomatika i telemehnika (Automation and telemechanics)*, 8, 66–100 (In Russian).
32. Smolyak S. A. (1980). Ustoychivyye metodyi otsenivaniya: (Statisticheskaya obrabotka neodnorodnykh sovokupnostey). M.: Statistika (In Russian).
33. Stogov G. V., Makshanov A. V., Musaeu A. A. (1982). Ustoychivyye metodyi obrabotki rezultatov izmereniy. *Zarubezhnaya radioelektronika (Foreign electronics)*, 8, 3–46 (In Russian).
34. Huber P. J. (1977). Robust Statistical Procedures. Philadelphia: SIAM.
35. Hogg. R. V. (1974). Adaptive Robust Procedures: A partial review and some suggestions for future applications and theory. *Journal to the American Statistical Association*, 69, 348, 909–923.
36. Barnett V., Lewis T. (1978). Outliers in Statistical Data. Chichester, New York: John Wiley & Sons.
37. Tsyipkin Ya. Z. (1995). Informatsionnaya teoriya identifikatsiyi. M.: Nauka, Fizmatlit (In Russian).

Стаття поступила в редакцію 04.05.2020 р.