

Моделювання та аналіз процесу здійснення державних закупівель

У статті розглядаються прикладні аспекти моделювання і прогнозування економічних задач, пов'язаних з управлінням державними закупівлями. Побудовано регресійну залежність рівня конкурентності торгів від факторів вартісної та кількісної структури торгів.

Ключові слова: управління державними закупівлями, рівень конкурентності торгів, кількісна та вартісна структура державних закупівель, теорія самоорганізації, моделювання.

Державні закупівлі як могутній інструмент макроекономічного регулювання, засіб попередження кризових явищ в економіці та забезпечення економічного зростання є однією з форм ринкової діяльності держави. Останнім часом у зв'язку зі значним розширенням кола економічних завдань суттєво збільшилася потреба в науковому моделюванні та прогнозуванні цілої низки економічних процесів, які можна розглядати з математичної точки зору як звичайні випадкові процеси. До їх моделювання та аналізу можна застосовувати сучасний математичний апарат, можливості використання сучасних інформаційних технологій, завдяки чому можна обробляти великі обсяги інформації та отримувати математичні моделі оптимальної (а не наперед заданої) складності.

Найбільший внесок в оцінювання ролі і соціально-економічного змісту державних закупівель як складової державного регулювання внесли вчені К. Кузнецов, В. Смирнов, Н. Нестерович, В. Геєць, А. Савченко, В. Морозов, В. Смирчинський. Але у наукових роботах зазначених авторів відсутні прикладні аспекти моделювання і прогнозування економічних задач, пов'язаних з управлінням державними закупівлями.

Метою дослідження є застосування індуктивного методу самоорганізації математичних моделей до процесу здійснення державних закупівель.

Прогноз найчастіше визначається як науково обгрунтоване судження стосовно невідомих, особливо майбутніх станів (параметрів) об'єкта чи досліджуваного процесу на основі аналізу його розвитку у поточний та попередні періоди. Тому науковий прогноз, який робиться на основі математичних моделей, отриманих з високим ступенем достовірності, несе в собі інформацію, необхідну при плануванні відповідних характеристик досліджуваного процесу.

В основі методу прогнозування на основі побудованих моделей лежить ідея екстраполяції (продовження) ряду за межі досліджуваного періоду. Кожна екстраполяція обов'язково базується на припущенні, що закономірність розвитку, знайдена за допомогою моделі, збережеться на певний час і за межами цього ряду у майбутньому.

Для побудови математичних моделей випадкових процесів існують багато методів. Деякі з них базуються на дослідженні часових рядів динаміки, інші – на дослідженні залежності вихідної величини від певних економічних та інших факторів, що впливають на неї, але не є фактором часу. Вибір тієї чи іншої моделі диктується характером досліджуваного процесу.

Найбільш простим методом прогнозування випадкових процесів за одним рядом динаміки (тобто за однофакторною часовою моделлю) є застосування середніх характеристик цього ряду: середнього абсолютного приросту та середнього темпу зростання. У першому випадку вирівняні рівні динамічного ряду на будь-яку дату t визначаються за формулою:

$$y_t = y_0 + \Delta \bar{y} t, \quad (1)$$

де t – порядковий номер дати ($t = 0, 1, \dots, n$); y_0 – початковий рівень ряду; $\Delta \bar{y}$ – середній абсолютний приріст.

У другому випадку розрахункові рівні визначаються за формулою:

$$y_t = y_0 + \bar{K}, \quad (2)$$

де \bar{K} – середній темп зростання.

Прогноз за викладеним методом має суттєвий недолік, оскільки прогнозується лише детермінована складова і не враховується випадковий компонент. Щоб уникнути такої помилки та зробити прогноз більш точним, необхідно дослідити закономірність зміни у часі випадкового компонента.

Метод експоненційного згладжування полягає у тому, що динамічний ряд згладжується за допомогою зваженої ковзної середньої, в якій коефіцієнти вагомості розподілені за експоненційним законом. Тому ця зважена ковзна середня є характеристикою останніх значень ряду. А оскільки майже кожен економічний процес має деяку інерцію, внаслідок якої він протікає в прогнозному періоді в умовах, близьких до умов досліджуваного періоду, використання зваженої середньої є достатньо виправданим для складання прогнозу.

Недоліком цього методу є порівняно висока складність оцінювання оптимального параметра згладжування, що ускладнює використання його для прогнозування економічних процесів.

Одними з найбільш поширених методів побудови математичних моделей та прогнозування за ними є регресійні методи.

Найпростішим видом регресії є лінійна регресія, яка дозволяє оцінити лінійну кореляційну залежність між вихідною випадковою величиною і факторами, що її формують. Основним недоліком цього методу є необхідність мати великий обсяг ретроспективних даних для побудови моделі. Але при збільшенні ретроспективного періоду зростає ймовірність зміни тенденції розвитку досліджуваного процесу, що робить прогноз за такою моделлю менш надійним. Крім того, при регресійних методах доводиться довільно визначати структуру моделі, наперед спрощуючи чи ускладнюючи її.

З урахуванням недоліків кожного з наведених методів для моделювання процесу формування загальної суми державних коштів у результаті досліджень та аналізу було зроблено висновок про доцільність застосування індуктивного методу самоорганізації математичних моделей [1, с. 102]. Перевагою цього методу у порівнянні з іншими методами є можливість використання мінімального обсягу вихідної інформації, що дозволяє застосовувати його в умовах часткової або повної відсутності достатньої і достовірної інформації про досліджуваний процес. Комп'ютерне оброблення даних дозволяє знаходити за допомогою перебору (последовного оцінювання) велике число варіантів моделей-претендентів за деякими зовнішніми критеріями.

У загальному вигляді теорія самоорганізації являє собою досить новий напрямок у кібернетичі, мета якого полягає у вдосконаленні математичного забезпечення електронного обчислювання електронних обчислювань. На сьогоднішній день у математичному моделюванні переважає детермінований підхід. Детерміновані моделі дозволяють врахувати вплив на об'єкт тільки тих факторів, що закладені в модель, структура якої визначається інтуїтивно.

Детермінований підхід до розв'язання задачі синтезу математичних моделей, до якого належать як детерміновані, так і ймовірні математичні методи, оснований на аналізі причин та наслідків, ґрунтується на таких твердженнях: чим більш складною є модель, тим більш точною вона є; додавання нового елемента в модель або додаткової складової у рівняння завжди підвищує його точність. Пояснюється це тим, що детермінований підхід базується на використанні внутрішнього критерію, тобто критерію, що розрахований за тими ж даними, що застосовувалися для отримання самої моделі. Зокрема, при використанні методів регресійного ана-

лізу критерій середньоквадратичної похибки, розрахованої за всіма точками таблиці досліджуваних даних, є внутрішнім критерієм.

Методи самоорганізації ґрунтуються на протилежному твердженні: існує єдина модель оптимальної складності, що є адекватною з точки зору складності описуваного об'єкта, яка дає найкраще розв'язання поставленої задачі (закон адекватності об'єкта та регулятора). Занадто значне ускладнення моделі так само недопустимо, як і недостатня її складність. Згідно з теорією самоорганізації такі властивості має тільки модель оптимальної складності. Така модель повинна формуватися за певним правилом при використанні відповідних критеріїв оптимальності.

Індуктивний метод самоорганізації моделей оснований на застосуванні зовнішніх критеріїв вибору. Під зовнішнім критерієм будемо розуміти критерій, що обчислюється за інформацією, яка не використовувалася при синтезі моделі. За даними, що вже використовувалися для оцінювання параметрів, без додаткової зовнішньої інформації принципово неможливо знайти єдину модель оптимальної складності. Необхідним є зовнішній критерій, який оцінює похибки опису моделі.

Методи, що використовуються при детермінованому підході, наприклад, методи, оснований на регресійному аналізі, дозволяють будувати моделі тільки в області, де число коефіцієнтів моделі є рівним або менше числа точок таблиці досліджуваних даних. А для ліквідації впливу випадкових факторів, крім того, рекомендується збільшити число точок у п'ять-десять разів. Багаторядкові алгоритми самоорганізації дозволяють вийти далеко за межі цієї області. Число коефіцієнтів багаторядної моделі може оцінюватися за таблицею, що має, наприклад, лише 20 точок.

Методи регресійного аналізу знаходять широке застосування тоді, коли моделювання процесів спрямовано на отримання моделей, що містять інформацію про причинно-наслідкові зв'язки між їхніми параметрами та дозволяють встановити на основі аналізу щільність зв'язку між ними, а також оцінити достовірність цього зв'язку.

В алгоритмах самоорганізації таблиця вихідних даних поділяється щонайменше на дві групи, які називаються навчальною (А) і перевірковою (В) послідовностями. Перша група даних використовується для формування вихідних моделей-претендентів для кожного ряду селекції. За другою групою даних здійснюється формування зовнішніх критеріїв селекції, що визначають структуру моделі, яка синтезується за даними навчальної послідовності.

Якщо дані фіксуються у часовій послідовності, варто застосувати поділ точок за парними і непарними індексами, тобто поділити їх через одну точку. Як зовнішній критерій при моделюванні про-

цесу застосовується критерій регулярності. Згідно з ним, середньоквадратична похибка повинна бути мінімальною.

Якщо виходити з того, що при постійному комплексі умов апроксимація у минулому гарантує апроксимацію у найближчому майбутньому, то критерій регулярності також рекомендується для короткотермінового прогнозу, а побудована модель буде мало чутливою до невеликих відхилень вихідних даних. При цьому у процесі селекції можуть бути втрачені важливі змінні, хоча їхній вплив опосередковано буде враховано через інші змінні.

Складність моделі зростає до тих пір, поки зменшується середньоквадратична похибка. Моделі оптимальної складності відповідає мінімум середньоквадратичної похибки.

Розглянемо застосування для моделювання процесу формування загальної вартості державних закупівель одну з найбільш простих структур методу групового врахування аргументів – комбінаторний алгоритм для малого числа змінних (до 20). У наших дослідженнях розглядаємо 3 змінні та включаємо в модель вільний член.

Вихідною інформацією для розв'язання завдання моделювання процесу формування загальної вартості державних закупівель служать дані про рівень конкурентності торгів, загальну суму державних коштів (фактор 1), кількісну структуру торгів (фактор 2), у період 2001–2014 рр. [2, с. 86].

При розгляді випадкових процесів для будь-якого фіксованого значення x_i випадкової величини X , що впливає на випадкову величину Y , остання в загальному випадку набуває різних значень: y_{i1}, y_{i2}, \dots , оскільки крім X на неї впливають ще багато випадкових непередбачуваних факторів. У такому випадку говорять про кореляційний зв'язок або про кореляційну чи стохастичну залежність між X та Y . Вивчення та оцінювання цієї залежності за допомогою математико-статистичних методів входить до складу задач теорії регресії, що дозволяє оцінити кореляційну залежність між X та Y . Постановкою задачі є побудова регресійної залежності рівня конкурентності торгів (Y) від факторів (X), що потенційно можуть впливати на цю величину: 1) вартісної структури торгів; 2) кількісної структури торгів.

Метою розроблення математичної моделі є визначення наявності (чи відсутності) кореляційного зв'язку між кожним з перелічених факторів та загальною сумою державних коштів. У разі наявності такої залежності матимемо право включати ці фактори у математичну модель як такі, що її формують.

Оцінювання лінійної кореляційної залежності передбачає, що для довільного фіксованого значення x величина y розподілена в генеральній су-

купності з математичним очікуванням, що представлено формулою:

$$Y = a + bx, \quad (3)$$

та дисперсією σ^2 , незалежною від x .

Оцінка невідомих коефіцієнтів визначається методом найменших квадратів виходячи з вимоги:

$$\sum_{i=1}^n [(y_i - (a + bx_i))]^2 = \min. \quad (4)$$

За оцінку дисперсії σ^2 випадкової величини Y у генеральній сукупності служить залишкова дисперсія \tilde{S}^2 :

$$\tilde{S}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (5)$$

де y_i – фактичні значення вихідної величини за ретроспективними даними;

\tilde{y}_i – значення вихідної величини, отримане за моделлю.

Нижче наведено регресійні моделі, побудовані як залежності рівня конкурентності торгів (Y) від кожного з факторів (X) окремо.

Перша модель:

$$Y = -6808,36 + 4676,98 x_1. \quad (6)$$

Друга модель:

$$Y = -11104,9 + 91,95 x_2. \quad (7)$$

Як міру ефективності отриманих моделей використано критерій Стьюдента. Стосовно коефіцієнта b при змінній x висувається статистична гіпотеза, за якою, наприклад, для першої моделі рівень конкурентності торгів (Y) не залежить від загальної вартості торгів (X). Спростування цієї гіпотези означає, що між рівнем конкурентності торгів (Y) та загальною вартістю державних закупівель (X) існує кореляційна (стохастична) залежність. Гіпотеза перевіряється за величиною критерію:

$$\tilde{t} = \frac{\tilde{b} - b^{(0)}}{\tilde{S}_b}, \quad (8)$$

$$\tilde{S}_b = \frac{\tilde{S}}{\sqrt{(n-1)S_x^2}}, \quad (9)$$

$$\tilde{S} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}, \quad (10)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}, \quad (11)$$

де \tilde{S} – корінь квадратний із залишкової дисперсії.

У формулі (9) \tilde{S}_b являє собою реалізацію вибіркової функції, що задовольняють розподілу Стьюдента з $m = n - 2$ ступенями свободи, внаслідок чого для перевірки наявності стохастичного зв'язку між відповідними параметрами моделі можна скористатися значеннями, наведеними в спеціальних таблицях.

У табл. 1 наведено результати перевірки наявності кореляційної залежності між рівнем конкурентності торгів та загальною вартістю державних закупівель (фактор 1), кількісною структурою торгів (фактор 2).

Таблиця 1

Результати перевірки наявності кореляційної залежності

Фактори моделі	Розрахункове значення критерію $ \tilde{t} $	Табличне значення критерію $t_{0,05;3}$
Фактор 1	16,02	3,18
Фактор 2	4,16	

Аналізуючи результати, наведені в табл.1, доводимо висновок, що гіпотезу $H_0^{(9)}$ слід відхилити, оскільки всі розрахункові значення критерію $|\tilde{t}|$ більші за 3,18. А це означає, що між рівнем конкурентності торгів та загальною сумою державних коштів (фактор 1), кількісною структурою торгів (фактор 2) існує щільний стохастичний зв'язок.

Для формування математичної моделі процесу формування рівня конкурентності торгів із послідовним виведенням проміжних і кінцевих результатів у роботі здійснено побудову математичної моделі з включенням на початковому етапі формування моделі всіх факторів, що впливають на вихідну величину. В наведеному вище прикладі розглянуто варіанти включення факторів без диференціації за способами закупівлі, тобто фактори як сумарні вихідні дані. Варіант побудови математичної моделі процесу формування загальної вартості державних закупівель із диференціацією за способами закупівлі також розглядається в роботі, і дані будуть наведені далі. Всі фактори, що входять на початковому

етапі побудови математичної моделі до її складу, з диференціацією за способами закупівлі та без неї, представлено як дані зі щорічним накопиченням.

За вихідну структуру взято модель, до якої включено вищезгадані два фактори плюс вільний член, тобто:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2. \quad (12)$$

Визначення виду моделі та її констант на етапі її формування являє собою процедуру знаходження моделі оптимальної складності. При цьому модель визначеного виду остаточно формується поступовим її ускладненням (додаванням на кожному ряді селекції до змінних отриманої на першому ряді селекції моделі по чергово по одній зі змінних, що лишилися і не увійшли до цього в модель).

Схему розв'язання задачі моделювання рівня конкурентності торгів, яку побудовано за комбінаторним алгоритмом методу групового врахування аргументу (МГВА), наведено на рис. 1 (де Γ позначає генератор, а Φ – фільтр).

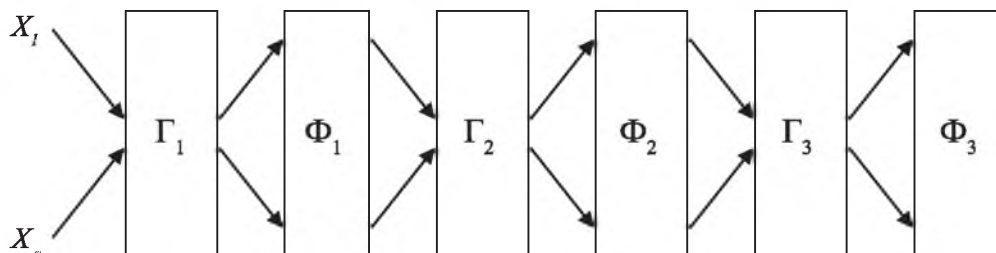


Рис. 1. Схema розв'язання задачі моделювання методом групового врахування аргументу

Розглянемо моделі-претенденти на першому ряді селекції, кожна з яких утворює функцію від двох змінних і має вигляд:

$$\begin{aligned} Y_1^{(1)} &= b_1 x_1 + b_2 x_2, \\ Y_2^{(1)} &= b_1 x_1 + b_3 x_3, \\ Y_3^{(1)} &= b_1 x_1 + b_4 x_4, \\ Y_4^{(1)} &= b_2 x_2 + b_3 x_3, \\ Y_5^{(1)} &= b_2 x_2 + b_4 x_4, \\ Y_6^{(1)} &= b_3 x_3 + b_4 x_4, \end{aligned}$$

де (1) – перший ряд селекції.

Таким чином, на першому ряді селекції здійснюється формування всіх можливих попарних комбінацій змінної матриці навчальної послідовності. Для кожної комбінації змінних розв'язується система рівнянь з двома невідомими. Оскільки така система є перевизначеною (більше рівнянь, ніж невідомих), у процесі розв'язання задачі здійснюється приведення її до нормального вигляду. Для цього застосовано метод найменших квадратів, що дозволяє визначити коефіцієнти системи з двох рівнянь з двома невідомими, сума квадратів

відхилення яких у порівнянні з вихідною перевищеною системою є мінімальною.

Розв'язуючи приведену до нормального виду систему рівнянь Гауса, визначаємо значення коефіцієнтів при змінних для кожної з можливих моделей-претендентів першого ряду селекції. Приведені до нормального виду системи рівнянь, з погляду на їхню простоту, вирішуються методом підстановки змінних.

На даних перевіркою послідовності з використанням отриманих коефіцієнтів моделі визначаються значення, які порівнюються з реальними значеннями, і визначається величина залишкової середньоквадратичної похибки (похибки опису) для всіх моделей-претендентів першого ряду селекції (алгоритм роботи фільтра Φ_1). Залишкова похибка моделювання використовується в подальшому в якості критерію селекції моделі оптимальної складності.

Із загального числа проміжних моделей-претендентів першого ряду селекції обирається одна модель (окремий опис), що отримана на точках перевіркою послідовності, яка є кращою за величиною залишкової похибки.

Кращим описом на першому ряді селекції при формуванні математичної моделі рівня конкурентності торгів як функції загальної вартості державних закупівель (фактор 1), кількісної структури торгів (фактор 2) виявилася комбінація змінних з коефіцієнтом $b_1 = -7241,186$ та x_2 з коефіцієнтом $b_2 = 4779,292$.

А модель-претендент після першого ряду селекції має вигляд:

$$Y^{(1)} = -7241,186 x_1 + 4779,292 x_2. \quad (14)$$

Результати моделювання, отримані на першому ряді селекції моделі, використовуються на наступному ряді селекції як нові змінні (алгоритм роботи генератора Γ_2). Подальше ускладнення

моделі здійснюється додаванням на другому ряді до змінних, отриманих на першому ряді селекції моделі, почергово по одній зі змінних, що залишилися, які не увійшли до цього в модель.

За даними перевіркою послідовності, для кожного з двох окремих описів визначається критерій середньоквадратичної похибки (алгоритм роботи фільтра Φ_2). На всіх подальших рядах селекції після першого ряду селекції перевіряється умова: залишкова похибка опису найкращої з математичних моделей, сформованих на цьому ряді селекції, повинна бути менше залишкової похибки найкращої моделі попереднього ряду.

Якщо величина критерію зменшилася, робиться подальше ускладнення моделі, тобто додається ще одна змінна. В протилежному випадку оптимальною вважається модель попереднього ряду селекції, обрана за мінімальним критерієм.

У результаті роботи програми найкращою в наших дослідженнях виявилася модель, отримана на першому ряді селекції. Подальше її ускладнення із включенням наступних факторів збільшувало середньоквадратичну похибку. Отже, для прогнозування загальної вартості державних коштів можна скористатись моделлю (14).

Бачимо, що до складу оптимальної моделі в кінцевому варіанті увійшов фактор 1 – вартість державних закупівель.

Під час досліджень за допомогою методу групового врахування аргументу отримано математичні залежності між рівнем конкурентності торгів та загальною сумою державних коштів (фактор 1), кількісною структурою торгів (фактор 2), які показали існування щільного стохастичного зв'язку. Отриману модель також можна використовувати для прогнозування на перспективу.

Перспективою подальшого дослідження є побудова математичної моделі рівня конкурентності торгів з диференціацією за способами закупівлі.

Список використаних джерел

1. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К. : Наукова думка, 1992. – 296 с.
2. Ткаченко Н. Б. Макроекономічні аспекти державних закупівель / Н. Б. Ткаченко, Ю. М. Уманців // Фінанси України. – 2009. – № 8. – С. 82–88.