

DOI <https://doi.org/10.15407/csc.2020.06.035>
УДК 303.721:004.03142

Р.М.ВОЛОЩУК, мол. наук. співробітник,
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних
технологій та систем НАН та МОН України,
03187, Київ, просп. Глушкова, 40, Україна,
volrom@bigmir.net

ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕМОГРАФІЧНОЇ СФЕРИ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Проведено аналіз, оцінювання та прогнозування показників демографічної сфери економічної безпеки України. Визначено показники демографічної сфери за рахунок яких є можливість покращити стан інтегрального індексу економічної безпеки України. Виконано прогнозування показників стану демографічної сфери України за допомогою методів адаптивного прогнозування, авторегресії та експоненційного згладжування.

Ключові слова: національна безпека, економічна безпека, демографічна безпека, адитивний інтегральний індекс, нелінійна нормалізація показників, програмний комплекс, експоненційне згладжування, авторегресія, адаптивне прогнозування.

Вступ

Україна вступила у стадію стійкої і тривалої депопуляції. У цих умовах демографічні зміни і тенденції в найближчій і більш віддаленій перспективі будуть значно залежати від прийнятої національної стратегії демографічної безпеки. З огляду на це, аналіз, оцінювання та прогнозування безпеки та розробка державних механізмів нейтралізації демографічних загроз є надзвичайно актуальним та своєчасним.

Стан демографічної кризи в Україні спонукає розглядати ситуацію з позицій демографічної безпеки. Адже негативні тенденції практично всіх складових демографічного процесу – народжуваності, смертності, шлюбності, міграції, здоров'я – ведуть до втрати здатності країни до самовідтворення населення у досягнутій якості й кількості. В інтересах держави і суспільства є формування такого типу відтворення, основні характерні риси якого – збереження кількісних і розвиток якісних характеристик населення, збільшення тривалості активного життя, прогресивна статевовікова

структура, оптимальні внутрішні і зовнішні міграційні процеси, зміцнення родинних цінностей та соціальної відповідальності за життя і здоров'я людей. Захист цих інтересів та створення умов для реалізації їх і складає сутність демографічної безпеки суспільства та держави [1].

Демографічна безпека є складовою національної безпеки, яка, в широкому сенсі, являє собою «підтримку комплексу соціальних, культурних та інших цінностей сучасного суспільства, наявність державних та інших механізмів, здатних адекватно реагувати на неминучі, в тому числі раптові, соціальні зміни. Іншими словами, це здатність суспільної системи країни забезпечити високий рівень життєдіяльності нації та її конкурентні можливості у взаєминах із зовнішнім світом з метою надійного існування і стійкого розвитку. Національна безпека передбачає створення в суспільстві таких умов, які на кожному конкретному історичному етапі сприяли б, по-перше, інтелектуальній та практичній мобілізації структурних можливостей для розвитку, по-друге, оптимальному використанню цих можливостей в інтересах і

цілях підвищення соціальної ефективності та конкурентоспроможності країни, по-третє, орієнтації не тільки на запобігання військової, екологічної, економічної та інших загроз, але, перш за все, на стимулювання соціально-економічного, культурного тощо розвитку суспільства» [2]. Аналіз, оцінювання та прогнозування демографічної сфери є необхідним для бюджетного та економічного прогнозування і планування соціально-економічних процесів, а саме: виробництва і споживання товарів та послуг, будівництва житла, розвитку соціальної інфраструктури, охорони здоров'я й освіти, зайнятості, економічної активності населення та ін. Без конкретних дій органів влади тривале зменшення чисельності населення гальмуватиме економічне зростання України, а старіння населення стане додатковим тягарем для мешканців працездатного віку та вплине на видаткову частину державного бюджету. Державним органам варто запланувати відповідні заходи для подолання наслідків, спричинених прогнозовано складною демографічною ситуацією. Такі заходи мають базуватися на чіткому баченні чинників та загроз які впливають на демографічну безпеку, та мають стати підставою для розроблення коротко та довгострокових заходів для подолання демографічної кризи.

Аддитивний інтегральний індекс

Оцінюється загальний стан заданої складної системи (багатовимірного процесу). Нехай $x_i, i = 1, m$ – первинні взаємозв'язані показники функціонування цієї системи, які в сукупності характеризують її стан. Для однозначної інтерпретації, оцінювання та порівняння між собою кожен з показників x_i має бути нормованим, зазвичай приведеним до інтервалу $0 \leq \tilde{x}_i \leq 1$, де \tilde{x}_i – нормоване значення показника, причому $\tilde{x}_i = 1$ має відповідати найкращим (оптимальним) значенням цього показника, а $\tilde{x}_i = 0$ – найгіршим (неприпустимим) його значенням. Після нормалізації значень кожного з заданої системи первинних показників інтегральний індекс цієї системи обчислюється як сума цих нормалізованих величин з певними ваговими коефіцієнтами (однаковими або ні).

Якщо \tilde{x}_i – значення i -го нормалізованого показника, то інтегральний показник (індекс) може мати вигляд лінійної згортки m показників [3]:

$$I = \sum_{i=1}^m k_i \tilde{x}_i,$$

де k_i – ваговий коефіцієнт i -го показника.

Нелінійна нормалізація показників

Ефективний варіант нелінійної нормалізації (на відміну від стандартного нормування) статистичних значень первинних показників має враховувати їхні характеристичні величини, а саме оптимальні, порогові та граничні значення первинних показників, запропоновані в [3].

Будь-який статистичний показник може бути як стимулятором – коли його зростання сприяє покращенню соціально-економічного стану держави, галузі або регіону, так і дестимулятором – коли його зростання призводить до погіршення стану. Більше того, виявляється, що значна частина статистичних показників може бути в одному діапазоні своїх значень стимуляторами, а в іншому – дестимуляторами. Відповідно, характеристичні величини для стимулятора називатимемо «нижніми», а для дестимулятора – «верхніми».

Отже, наприклад, для кожного первинного показника-стимулятора x_j експертами задаються так звані «нижні» характеристичні величини: оптимальні $x_{\text{опт}}^H$ (вище яких значення показника вважаються найкращими), порогові $x_{\text{пор}}^H$ (які бажано не перетинати) та граничні $x_{\text{гр}}^H$, які перетинати неприпустимо (або фізично неможливо). Відповідно, для показника-дестимулятора задаються так звані «верхні» характеристичні величини $x_{\text{опт}}^B, x_{\text{пор}}^B, x_{\text{гр}}^B$.

На рис.1 представлено співвідношення шести характеристичних величин для показника, який у різних діапазонах своїх значень є одночасно і стимулятором, і дестимулятором.

Запропонований в [3] метод кусково-лінійної нормалізації має той недолік, що вона негладка, бо має скачки першої похідної в характеристичних точках. Вимоги до потрібних властивостей функції гладкої нелінійної нормалізації [4]:

– перша похідна від нормувальної функції в оптимальній та граничній точках має дорівнювати 0;

– в пороговій характеристичній точці функція повинна мати перегин, тобто друга похідна в цій точці має дорівнювати 0.

Зокрема, для показника-стимулятора, для якого відомі граничне $x_{гр}^H$, порогове $x_{пор}^H$ та оптимальне $x_{опт}^H$ характеристичні значення, потрібна функція має такий вигляд [5]:

$$\tilde{x}_s(x) = a_s(x - x_{гр}^H)^{b_s} e^{-c_s(x - x_{гр}^H)}, \quad a_s, c_s > 0, b_s > 1.$$

Її параметри виражаються через усі три характеристичні величини [4].

Для показника-дестимулятора нормувальна функція є дзеркальним відображенням до функції стимулятора, причому починається вона з точки $x_{опт}^B$:

$$\tilde{x}_d = 1 - a_d(x - x_{опт}^B)^{b_d} e^{-c_d(x - x_{опт}^B)}.$$

Ця функція задовольняє вказані вище умови, тобто є гладкою.

Загальна структура комплексу в системі Excel

Рівень економічної безпеки України визначається широким колом показників стану різних секторів економіки України. Ці показники згруповані у 10 економічних блоків загалузями безпеки: «Макроекономічна», «Фінансова», «Зовнішньоекономічна», «Інвестиційна», «Науково-технологічна», «Енергетична», «Виробнича», «Демографічна», «Соціальна», «Продовольча» безпека [5]. Крім того, має бути також блок «Загальний індекс економічної безпеки», пов'язаний з галузевими індексами. Це визначає собою підхід до побудови і аналізу архітектури системи: всі початкові дані, результати розрахунків допоміжних величин та індексів безпеки містяться в системі у відповідних 11-ти листах таблиць *Excel*. Вони програмно пов'язані між собою: зміна будь-якого початкового показника певної галузі автоматично змінює індекс безпеки цієї галузі та загальний індекс.

На наш погляд, найбільш ефективними програмними засобами, які доцільно використовуватись для реалізації такої системи, є *Microsoft Office Excel* з програмними можливостями мови



Рис. 1. Характеристичні значення показника

VBA (Visual Basic for Applications) у поєднанні з використанням бібліотек статистичних функцій програми *Statistica*. Загальну структуру розробленої програмної системи інтегрального оцінювання та прогнозування економічної безпеки подано на рис. 2, цю систему детально описано в [6].

Розроблена система забезпечує виконання таких задач:

- поточне відстеження динаміки показників стану контрольованих процесів;
- нормалізація даних за розробленою методикою;
- визначення вагових коефіцієнтів;
- інтегральне та деталізоване оцінювання змін, що відбуваються;
- аналіз виявлених змін та встановлення факторів впливу на ці зміни;
- виявлення потенційних несприятливих явищ та тенденцій розвитку;
- візуалізація та документування результатів.

Застосування комплексу для розв'язання реальних задач на прикладі галузі демографічної безпеки

Опис даних і перелік задач дослідження. Опис показників, що характеризують демографічну безпеку України, подано в табл. 1. Цей перелік показників надано експертами Міністерства економіки України відповідно до офіційно затвердженої у 2007 р. Методики розрахунку інтегральних індексів економічної безпеки.

Очікувана тривалість майбутнього життя – числороків, яке всередньому належить прожити даному поколінню народжених або числа однолітків певного віку, якщо припустити, що протягом їхнього життя смертність в кожній віковій групі буде такою, як у роки, для яких обчислено показник. Іншими словами, показник виражається кількістю років, які проживе покоління дітей, що народилися у цьому році, за умови, що протягом всього життя покоління рівні смертності в усіх вікових групах будуть залишатися незмінними.

Загальний опис системи

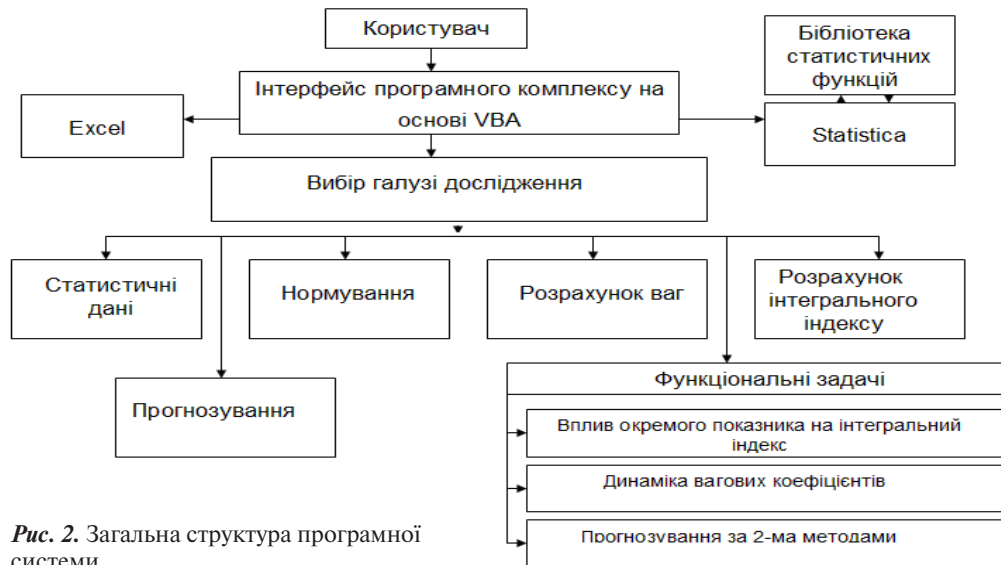


Рис. 2. Загальна структура програмної системи

Показник дитячої смертності – скільки померло дітей віком до одного року на 1 тис. народжених, осіб.

Коефіцієнт природного приросту – відношення природного приросту (скорочення) населення до середньорічної чисельності наявного населення або різниця між загальними коефіцієнтами народжуваності та смертності.

Сумарний коефіцієнт народжуваності характеризує середню кількість дітей, народжених однією жінкою у гіпотетичному поколінні за все її життя, за умови збереження у кожній віковій групі наявного рівня народжуваності. Розраховується за даними Держкомстату України як сума вікових коефіцієнтів народжуваності за віковими інтервалами. Вікові коефіцієнти народжуваності – це відношення числа народ-

жених дітей за рік у жінок даної вікової групи до середньої чисельності жінок цього віку (від 15 до 19 і так далі з п'ятирічним інтервалом).

Брутто-коефіцієнт відтворення населення – число дівчаток, народжених у середньому однією жінкою до закінчення фертильного віку при збереженні протягом її життя сучасного рівня народжуваності в кожному віці.

Коефіцієнт старіння населення у відсотках розраховується відношенням осіб у віці старше 65 років до середньої чисельності населення. Для визначення значення цього показника необхідно користуватися шкалою демографічного старіння.

Перелік характеристичних значень показників, наданих експертами Мінекономіки України, представлено в табл. 2.

Таблиця 1. Показники демографічної безпеки України

Показник	Найменування показника
x_1	Очікувана тривалість життя при народженні, років
x_2	Коефіцієнт дитячої смертності (померло дітей віком до одного року на 1 тис. народжених), осіб
x_3	Коефіцієнт природного приросту (на 1 тис.), осіб
x_4	Сумарний коефіцієнт народжуваності населення (середня кількість дітей, народжених жінкою за все життя), осіб
x_5	Чистий коефіцієнт відтворення населення (брутто), осіб
x_6	Коефіцієнт старіння (станом на 1 січня), %
x_7	Демографічне навантаження непрацездатного населення на працездатне, %

Фрагмент статистики значень показників, що характеризують демографічну безпеку України з 1996 по 2018 роки, подано в табл. 3, джерело – Мінекономіки України.

Динаміку зміни значень показників демографічної сфери України за 1996–2018 роки графічно представлено на рис.3.

Аналіз рис. 3 показує, що всі показники, які характеризують стан безпеки демографічної сфери в Україні, не покращуються, або навіть погіршуються з часом, що говорить про кризу в даній сфері. Але без вирішення демографічної кризи неможливо покращити стан економічної безпеки держави, саме тому є потреба в дослідженні даної проблеми і визначенні шляхів та механізмів покращення ситуації в цій сфері.

Разом з тим без прогнозування показників економічної безпеки неможливо приймати ефективні управлінські рішення як органами державної влади, так і представниками бізнесу. Таким чином, важливо дослідити, які методи є ефективними для прогнозування економічних показників, зокрема, в демографічній сфері.

Задачі дослідження:

- дослідження характеру нормувальних кривих показників демографічної безпеки;
- дослідження впливу на інтегральний індекс показників, які його формують;
- дослідження динаміки зміни вагових коефіцієнтів;
- прогнозування стану безпеки демографічної сфери України.

Нормувальні криві показників демографічної безпеки. Побудовано нормувальні криві для кожного з 7 показників демографічної сфери від $x_{гр}^H$ до $x_{гр}^B$, за допомогою методу нелінійної

нормалізації [4]. Наприклад, для показника демографічної сфери граничні значення дорівнюють $x_{гр}^H = 10$ та $x_{гр}^B = 70$, тобто весь діапазон можливих значень становить 60. Цей діапазон зручно розділити на 15 частин і в кожній з них розрахувати нормалізоване значення показника. Так само визначаємо діапазони можливих значень інших показників, розділяємо на певну кількість частин і виконуємо нормалізацію. Відповідні приклади нормувальних кривих показників x_4 та x_6 представлено на рис. 4 та 5.

Очевидно, що з обох боків оптимального діапазону значень внесок кожного показника змінюється плавно, що є більш коректно на відміну від кусково-лінійної нормалізації.

Аналіз залежності інтегрального індексу від зміни значень первинних показників. Мета – з'ясувати характер залежності інтегрального індексу стану складної системи від можливої зміни первинних показників у всьому діапазоні їхніх значень. Оскільки йдеться про залежність саме від окремо взятого показника, то зрозуміло, що при цьому інші показники, що формують інтегральний індекс, мають бути константами. З огляду на це доцільно використовувати таку методику дослідження [6]:

Таблиця 2. Характеристичні значення показників демографічної сфери

x_1	65,00	70	75	80	85	86,0
x_2	0,00	0,5	1	2	5	10,0
x_3	-7,00	0	2,8	2,8	5	7,0
x_4	0,50	1,5	2,2	2,2	3	5,0
x_5	0,50	0,8	1,1	1,5	2	5,0
x_6	6,00	10	12	16	18	25,0
x_7	30,00	40	45	50	60	85,0

Таблиця 3. Значення показників демографічної сфери України (1996–2018)

Показник	1996	1997	...	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
x_1	40,00	38,00	...	70,44	71,02	71,15	71,37	71,37	71,38	71,68	71,98	71,76
x_2	7,89	9,39	...	9,17	8,98	8,39	8,00	7,85	8,06	7,44	7,65	7,14
x_3	1,50	1,40	...	-4,39	-3,56	-3,14	-3,50	-3,89	-4,29	-4,39	-4,97	-5,98
x_4	15,40	13,30	...	1,445	1,459	1,531	1,506	1,498	1,506	1,466	1,374	1,301
x_5	1,20	1,20	...	0,699	0,706	0,741	0,729	0,726	0,727	0,709	0,666	0,63
x_6	13,93	14,03	...	15,47	15,26	15,23	15,27	15,47	15,75	16,04	16,35	16,63
x_7	51,60	50,90	...	42,50	41,90	42,10	42,50	43,20	44,30	45,20	46,20	47,00

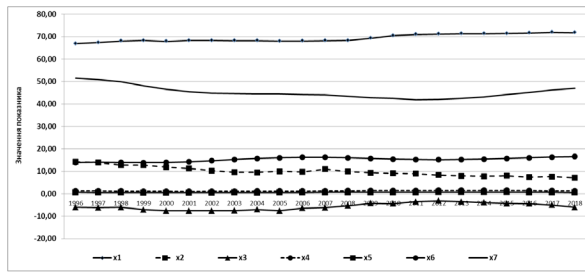


Рис. 3. Динаміка показників демографічної сфери України, 1996–2018 рр.

- весь діапазон реальних значень кожного з показників (загалом різної розмірності) розбити на однакову кількість інтервалів постійної довжини (різної для різних показників) для порівняння результатів;

- встановити для кожного показника значення, що буде постійним при зміні одного з них – найпростіше взяти останнє зі значень за часом;

- почергово змінювати перший, другий і т.д. показник від найменших до найбільших значень, що відповідають межах обраних інтервалів, та обчислювати значення інтегрального індексу в цих точках за умови, що інші показники є встановленими константами;

- побудувати графіки зміни значень інтегрального індексу в обраних точках для кожного з показників;

- вказати на графіку діапазон зміни реальних значень показника від мінімального до максимального, а також його поточне значення;

- проаналізувати отримані графіки і встановити показники, які:

- дають мінімальне та максимальне значення інтегрального індексу;

- при їх зміні від поточних значень до досягнення максимуму інтегрального індексу дадуть найбільший його приріст;

- вже знаходяться в діапазоні максимуму інтегрального індексу;

- пояснити отримані результати з економічної точки зору;

- запропонувати найбільш доцільні варіанти напрямків зміни економічної політики в тих чи інших галузях.

На рис. 6, 7 та 8 показано результати застосування вказаної методики на прикладі показників: «Коефіцієнт дитячої смертності»,



Рис. 4. Нормувальна крива показника x_4 «Сумарний коефіцієнт народжуваності населення»

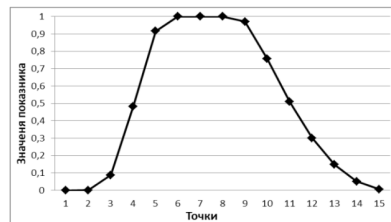


Рис. 5. Нормувальна крива показника x_6 «Коефіцієнт старіння»

«Сумарний коефіцієнт народжуваності населення», «Чистий коефіцієнт відтворення населення». Зазначимо, на графіках рис. 6, 7, 8 тонкі вертикальні прямі показують межі діапазону значень, які приймав той чи інший первинний показник з 1996 по 2018 роки, а жирна пряма показує реальне значення показника станом на 2018 р. та відповідний рівень демографічної безпеки.

Якщо від максимального значення індексу для кожного з цих показників відняти їхні значення станом на 2018 р., то можна визначити максимально можливий приріст індексу за рахунок зміни таких показників:

- «Коефіцієнта дитячої смертності» – з 0,45 до 0,58, тобто на 0,13 за рахунок таких заходів державної політики: удосконалення медичної допомоги дітям із впровадженням сучасних методів діагностики та лікування; забезпечення рівного доступу дітей до якісних медичних послуг; посилення профілактичного напрямку роботи в педіатрії; підвищення обізнаності батьків та членів суспільства щодо проблем дитячого здоров'я; пропагування здорового способу життя, подолання кадрового дефіциту лікарів-педіатрів

- «Сумарного коефіцієнта народжуваності населення» – з 0,44 до 0,56, тобто на 0,12 завдяки таким заходам: оптимізація кількості дошкільних і загальноосвітніх навчальних закладів

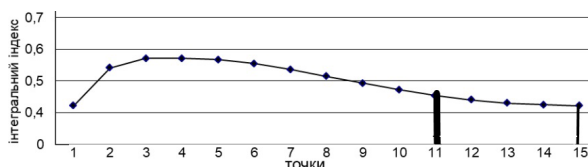


Рис. 6. Залежність індексу від показника x_2 «Коефіцієнт дитячої смертності»

із урахуванням прогнозованої чисельності дітей відповідного віку; створення сприятливих умов для поєднання зайнятості батьків із народженням і вихованням дитини; посилення сімейної орієнтації молодіжної політики;

- «Чистого коефіцієнта відтворення населення» – з 0,46 до 0,6, тобто на 0,14 такими заходами: поліпшення якості надання медичних послуг, в тому числі під час вагітності й пологів (також із ускладненнями) серед жінок середнього і старшого дітородного віку.

Очевидно, що поліпшення демографічної ситуації можна очікувати лише за умови поліпшення економічної ситуації в Україні. Соціально економічна криза в Україні спричинила гострі проблеми, вирішення яких передбачає розробку науково обгрунтованої комплексної програми подолання демографічної кризи, яка б охоплювала не тільки питання простого відтворення населення, але й його розвитку в широкому соціальному контексті. Дана робота передбачає надання відповідного інструментарію для визначення можливостей покращення стану демографічної безпеки і розробки відповідних механізмів для практичної реалізації розроблених підходів.

Метод визначення вагових коефіцієнтів показників

Опишемо основні кроки методу визначення вагових коефіцієнтів на основі методу головних компонент (МГК).

1. Маємо статистичну вибірку або таблицю зміни в часі (по роках) m первинних показників певної сфери

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

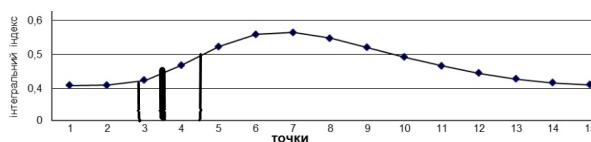


Рис. 7. Залежність індексу від показника x_4 «Сумарний коефіцієнт народжуваності населення»

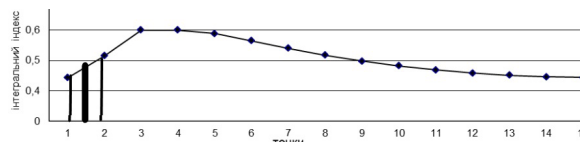


Рис. 8. Залежність індексу від показника x_3 «Чистий коефіцієнт відтворення населення»

де n – кількість рядків матриці, тобто точок вимірювань (у нашому разі років), m – кількість стовпців матриці, кожен з яких є n -вимірним вектором первинних показників або ознак.

2. Обчислюємо відповідну кореляційну матрицю R розмірності $m \times m$ для цієї групи показників: $R = r_{x_i x_j}, i, j = 1, \dots, m$, де $r_{x_i x_j}$ – вибіркові коефіцієнти парної кореляції між вектор-стовпцями i та j матриці X .

3. Визначаємо власні числа (або значення) $\lambda_i, i = 1, \dots, m$ матриці R як корені характеристичного многочлена $|R - \lambda_i| = 0$, при цьому вони впорядковуються за спаданням: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$, причому $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m = m$. Цим власним числам відповідають m власних векторів $v_i, i = 1, \dots, m$, що є розв'язками рівняння $(R - \lambda_i E)v_i = 0$. Ці вектори є новими факторами, які формують новий m -вимірний ознаковий простір замість простору первинних m показників.

4. Обираємо з цих m факторів $q < m$ головних компонент. Для вибору кількості таких виділених латентних факторів використовуємо так зване правило Кайзера [8]: значимими є компоненти, для яких власні числа перевищують 1 ($\lambda_i > 1$).

5. Нормуємо ваги цих q компонент на 1:

$$w_l = \frac{\lambda_l}{\sum_{l=1}^q \lambda_l}, l = 1, \dots, q.$$

6. За спеціальною процедурою обертання факторного простору «варімакс нормалізований», яке забезпечує максимально можливу концентрацію дисперсії початкових даних в координатних осях виділених факторів,

отримуємо нові координатні осі цих головних компонент. На ці q осей проектуємо вектори показників і отримуємо так звані навантаження N_{jl} кожного j -го показника на кожну l -ту головну компоненту. Кроки 2–4 та 6 можна виконувати за допомогою готових програмних засобів, зокрема пакету *Statistica*.

7. Нормуємо навантаження показників, які формують компоненти, на l :

$$d_{jl} = \frac{N_{jl}}{\sum_{l=1}^q |N_{jl}|}, \quad j = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, q.$$

8. Нарешті, визначаємо вагові коефіцієнти k_j усіх показників у інтегральному індексі

$$k_j = \sum_{l=1}^q w_l d_{jl}.$$

Оскільки як ваги w_l головних компонент, так і навантаження d_{jl} показників нормовані на 1, то і ваги k_j будуть також нормовані на 1, тобто такі, що $\sum_{j=1}^m k_j = 1$.

9. Ці ваги використовуємо в формулі для інтегрального індексу

Дослідження динаміки зміни вагових коефіцієнтів

Для дослідження динаміки вагових коефіцієнтів спершу на основі статистики показників, що характеризують стан безпеки демографічної сфери з 1996 по 2000 рр., розраховуються вагові коефіцієнти станом на 2000 р.

Далі на кожен наступний рік з 2001 по 2018 рр. відбувається перерахунок вагових коефіцієнтів з урахуванням даних за кожен відповідний рік. Результати аналізу динаміки зміни значень цих вагових коефіцієнтів представлено графічно на рис. 9.

Графіки на цьому рисунку показують тенденцію до певної стабілізації значень цих ваг в період з 2012 по 2018 рр.

Задача прогнозування інтегрального індексу

Для розрахунку прогнозів стану демографічної сфери України в дослідженні порівнюються результати інерційного прогнозування на

основі методу експоненційного згладжування та моделей авторегресії, а також пропонується адаптивний підхід до прогнозування. В основі інерційного прогнозування лежить гіпотеза стаціонарності досліджуваного явища, тобто збереження статистичних характеристик явища без зміни як на ретроспективному проміжку часу, так і в сьогоденні та майбутньому. Як інформація, що залучається для прогнозу, використовується ряд статистичних значень динаміки випадкової прогнозованої величини.

Метод експоненційного згладжування було запропоновано в [7]. Він дає найбільш точне наближення до початкового динамічного ряду. Сутність цього методу полягає в тому, що динамічний ряд згладжується за допомогою зваженої рухомої середньої, що підпорядковується експоненційному закону розподілу.

Побудова ARIMA-моделей. В науковій літературі, присвяченій прогнозуванню, запропоновано значну кількість прогнозних моделей, проте останнім часом популярними стали *ARI-MA*-моделі (*Auto Regressive Integrated Moving Average*), тобто авторегресії проінтегрованого ковзного середнього, які пояснюють поведінку часового ряду, виходячи лише з його значень в попередні моменти часу, а також добре описують як стаціонарні, так і нестаціонарні часові ряди. Вперше систематичний підхід до побудови моделі *ARIMA* був викладений Боксом і Дженкінсом в 1976 р. [8].

В методології *ARIMA* задається лише загальний клас моделей, що описують часовий ряд і дозволяють виражати поточне значення змінної через її попередні значення. Потім алгоритм, підстроюючи внутрішні параметри, сам вибирає найбільш відповідну модель прогнозування.

Однією з найчастіше використовуваних моделей Бокса-Дженкінса є *AR(p)* – авторегресійна модель порядку p , яка в загальному випадку має вигляд:

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

де y_t – стаціонарний ряд з нульовим середнім, a_1, \dots, a_p – константи, ε_t – гаусів білий шум з нульовим середнім і постійною дисперсією σ_g^2 . В цій роботі для прогнозування використовуються саме моделі авторегресії.

Адаптивний підхід до прогнозування. При застосуванні адаптивної моделі в режимі “на крок вперед” щоразу (для кожного року) в модель *ARIMA* підставляються реально вимірні значення показника. Такий прогноз “на крок вперед” можна далі покращити, якщо щороку коригувати модель з урахуванням нових даних. При цьому “адаптивний прогноз на крок вперед” буде ще точнішим, оскільки модель щороку коригується. Наприклад, для випадку авторегресії з двома лагами $p=2$ прогнозна модель при цьому матиме вигляд:

$$x_t = a_{1t}x_{t-1} + a_{2t}x_{t-2},$$

де x_{t-1} та x_{t-2} – реальні значення показника за попередні періоди, a_{1t} та a_{2t} – скориговані параметри авторегресійної моделі, x_t – прогнозне значення показника. Таким чином, адаптивна модель має параметри, що змінюються з часом.

Методика прогнозування показників демографічної безпеки

Для побудови моделей та прогнозів використовується пакет Statistika, зокрема, його засоби “Exponential smoothing” та “*ARIMA*”. Прогнозування показників стану демографічної сфери України проводиться за допомогою методів експоненційного згладжування, *ARIMA* та адаптивного прогнозування. На період з 2014 до 2018 р. виконується контрольне прогнозування і дається прогноз на 2019 та 2020 рік.

Для порівняння точності прогнозування за різними методами використовується відносна середньоквадратична помилка моделі *RMSE* за даними контрольної частини вибірки розмірністю n_c точок [9]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^{n_c} (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_i^{n_c} (x_i)^2}}.$$

Після прогнозування показників демографічної сфери України обчислюється прогноз інтегрального індексу як сума цих прогнозованих нормалізованих величин з відповідними ваговими коефіцієнтами [3].

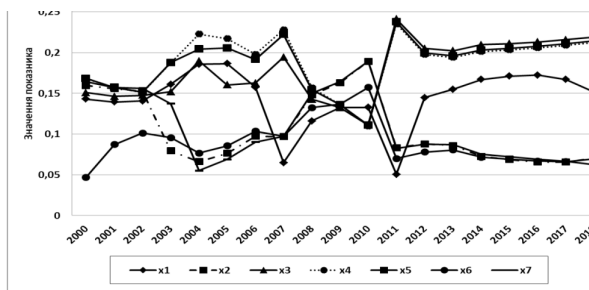


Рис. 9. Динаміка вагових коефіцієнтів по роках 2000–2018 рр.

Результати прогнозування показників демографічної безпеки

Результати прогнозування показників стану демографічної сфери України представлено на рис. 10 та 11 на прикладі показників x_1 “Очікувана тривалість життя при народженні” та x_4 “Сумарний коефіцієнт народжуваності населення”. Прогнозування проводиться за допомогою методів експоненційного згладжування, *ARIMA* (авторегресії) та адаптивного прогнозування на основі авторегресії.

Результати прогнозування показників “Очікувана тривалість життя при народженні” та “Сумарний коефіцієнт народжуваності населення” за допомогою методів *ARIMA*, адаптивного прогнозування, та експоненційного згладжування свідчать про більшу точність адаптивного прогнозування.

Графічні результати прогнозування інтегрального індексу стану демографічної сфери України на основі отриманих прогнозів показників цієї сфери за допомогою методів експоненційного згладжування, *ARIMA*, та адаптивного прогнозування, представлено на рис. 12, а помилки відповідних прогнозів на контрольній вибірці 2014–2018 рр. – в табл. 4.

Авторегресійні моделі всіх показників, побудовані з використанням *ARIMA*, та характеристики їх прогнозної точності на контрольній частині вибірки подано в табл. 5.

Аналіз прогнозування інтегрального індексу показників стану демографічної сфери України за допомогою методів *ARIMA*, адаптивного прогнозування та експоненційного згладжування, які представлені на рис. 12, говорить про більшу точність адаптивного прогнозування.

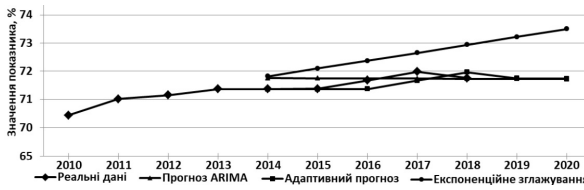


Рис. 10. Динаміка і прогноз показника x_1 «Очікувана тривалість життя при народженні»

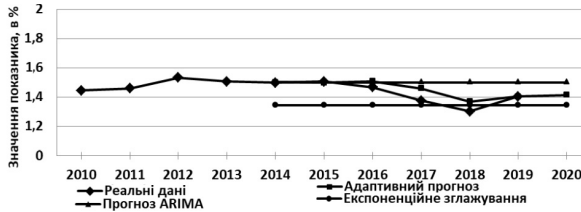


Рис. 11. Динаміка і прогноз показника x_4 «Сумарний коефіцієнт народжуваності населення»

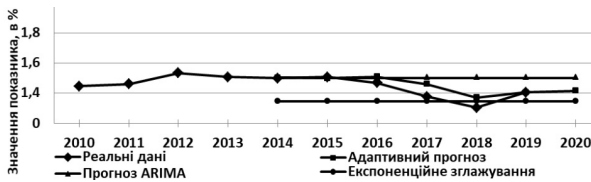


Рис. 12. Динаміка та прогноз інтегрального індексу стану демографічної сфери України

Висновки

Оцінювання та прогнозування показників демографічної сфери в Україні є актуальною проблемою, адже країна тривалий період знаходиться в стані демографічної кризи. Отже, аналіз та прогнозування інтегрального індексу

демографічної безпеки є необхідним інструментом для підвищення ступеня поінформованості осіб, які приймають рішення, стосовно важливих тенденцій у сфері демографічної безпеки.

Визначено показники демографічної сфери, за рахунок прийняття належних рішень, щодо яких є можливість покращити стан цієї сфери в сенсі збільшення значення інтегрального індексу: «Коефіцієнт дитячої смертності», «Сумарний коефіцієнт народжуваності населення», «Чистий коефіцієнт відтворення населення».

Розроблена інформаційна технологія дає можливість відслідковувати і прогнозувати стан економічної безпеки держави за галузями і через інтегральний індекс безпеки в цілому в динаміці. Зокрема, забезпечується оперативне виявлення галузей з поточним чи потенційно можливим низьким рівнем безпеки, визначаються показники, які є джерелом відповідних небезпечних тенденцій, і забезпечується можливість виявлення ресурсів і більш раціональне їх використання, що має забезпечити покращення рівня безпеки як окремої галузі, так і стану економічної безпеки в цілому.

Таблиця 5. Результати прогнозування інтегрального індексу демографічної безпеки

Найменування показника	RMSE		
	Адаптивний прогноз	Прогноз ARIMA	Експоненційне згладжування
Інтегральний індекс	4,29%	5,35%	6,21%

Таблиця 4. Результати прогнозування показників демографічної безпеки

Показник	Авторегресійна модель	RMSE		
		Адаптивний прогноз, %	Прогноз ARIMA, %	Експоненційне згладжування, %
x_1	$x_t = 1,007x_{t-1} - 0,007x_{t-2}$	0,25	0,37	1,00
x_2	$x_t = 0,975x_{t-1} - 0,012x_{t-2}$	4,45	6,92	2,34
x_3	$x_t = 1,032x_{t-1} - 0,005x_{t-2}$	13,17	33,50	18,53
x_4	$x_t = 1,021x_{t-1} - 0,021x_{t-2}$	3,43	7,33	7,19
x_5	$x_t = 0,886x_{t-1} - 0,113x_{t-2}$	4,00	7,69	5,88
x_6	$x_t = 1,026x_{t-1} - 0,026x_{t-2}$	1,49	5,99	2,78
x_7	$x_t = 0,987x_{t-1} - 0,001x_{t-2}$	2,67	7,46	4,81

ЛІТЕРАТУРА

1. Грیشнова О.А., Харазішвілі Ю.М. Демографічна безпека України: ідентифікатори, рівень, загрози. Демографія та соціальна економіка. 2019. № 2. С. 65-80.
2. Косолапов Н. Национальная безопасность в меняющемся мире/Мировая экономика и международные отношения. 1992. № 10. С. 18–19.
3. Степашко В.С. Про задачу нормалізації економічних показників. Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. Зб. наук. праць. Вип. 9. Київ: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2005. С. 32-36.
4. Волощук Р.В., Степашко В.С. Нелінійна нормалізація статистичних показників для задачі побудови інтегральних індексів. Індуктивне моделювання складних систем: Зб. наук. праць. Вип. 6. К.: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2014. С. 47-54.
5. Волощук Р.В. Опис програмного комплексу інтегрального оцінювання стану економічної безпеки держави в системі Excel. Індуктивне моделювання складних систем. Вип. 10. К.: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2018. С. 32-46.
6. Волощук Р.В., Степашко В.С. Методика чисельного аналізу залежності інтегрального індексу від зміни значень первинних показників. Індуктивне моделювання складних систем: Зб. наук. пр. К.: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2011. Вип. 3. С. 33-40.
7. Маслій В.В., Березька К.М. Вибір та оцінка ARIMA-моделі для прогнозування обсягів прямих іноземних інвестицій. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Економіка і менеджмент. 2017. Вип. 24(2). С. 115-119. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_eim_2017_24\(2\)_26](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_eim_2017_24(2)_26).
8. Вох Г.Е.Р., Jenkins G.M. Time Series Analysis Forecasting and Control, San Francisco: Holden-Day, 1970. 553 p.
9. Волощук Р.В., Степашко В.С. Прогнозування інтегрального індексу інвестиційної безпеки України на основі прогнозних моделей первинних показників. Індуктивне моделювання складних систем: Зб. наук. праць. К.: МННЦ ІТС НАН та МОН України, 2019. Вип. 11. К. С. 5-18.

Надійшла 04.11.2020

R.V. Voloschuk, Junior Researcher, International Research and Training Centre for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Academician Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, volrom@bigmir.net

ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE DEMOGRAPHIC SPHERE OF ECONOMIC SECURITY

Introduction. Ukraine has entered a stage of stable and long-term depopulation. In these circumstances, demographic changes and trends in the short and long term will significantly depend on the adopted national strategy of demographic security. With this in mind, the analysis, assessment and forecasting of security and the development of state mechanisms to neutralize demographic threats are extremely relevant and timely.

Purpose. Analysis, assessment and forecasting of the demographic sphere is necessary for budgetary and economic forecasting and planning of socio-economic processes, namely: production and consumption of goods and services, housing construction, social infrastructure development, health and education, employment, economic activity etc. Without concrete action by the authorities, long-term population decline will hamper Ukraine's economic growth, and population aging will become an additional burden for people of working age and will affect the expenditure side of the state budget. Public authorities should plan appropriate measures to address the consequences of the projected difficult demographic situation. Such measures should be based on a clear vision of the factors and threats that affect demographic security, and should be the basis for developing short- and long-term measures to overcome the demographic crisis.

Methods. Methods of exponential smoothing, ARIMA and adaptive forecasting are used to build these models.

Results. The developed information technology allows decision-makers in relevant government agencies (government, ministries, departments) to monitor and forecast the state of economic security by industry and through the integrated security index as a whole in dynamics.

Conclusion. The performed forecasting of indicators of the state of the demographic sphere of Ukraine using the methods of exponential smoothing, ARIMA and adaptive forecasting speaks of greater accuracy and efficiency of ARIMA and adaptive forecasting for using these methods in effective management decisions in the demographic sphere of Ukraine, while adaptive forecasting was more accurate when forecasting certain indicators of the demographic security sphere.

Keywords: national security, demographic security indicators, level of economic security of Ukraine, additive integral index, nonlinear normalization of indicators, forecasting.