

РЕАКЦІЯ НАСЕЛЕННЯ ЄВРОПИ НА ПРОЦЕС ВАКЦИНАЦІЇ ПРОТИ COVID-19 З ВИКОРИСТАННЯМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ**Каща М.О.,***Аспірантка кафедри економічної кібернетики**Сумський державний університет*m.kascha@uabs.sumdu.edu.ua

ORCID ID: 0000-0001-9055-8304

Чугаєва О.В.,*старша викладачка кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки**Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана*chugaeva_olena@ukr.net

ORCID ID: 0000-0003-0243-7380

Грек К.А.,*Студентка, Сумський державний університет*k.hrek@student.sumdu.edu.ua

В роботі наведено результати наукових досліджень з питання впливу превентивних заходів, а саме імунізації населення, щодо розповсюдження вірусу Covid-19. Основною метою проведеного дослідження є проведення кластерного аналізу країн Європи для аналізу стану захворюваності населення країни, кількості летальних випадків та випадків повного одужання, в залежності від кількості вакцинованого населення. Систематизація літературних джерел та підходів до вирішення проблеми встановлення довіри населення до вакцинації та теоретичного доведення ефективності щеплень від хвороб, для яких це можливо, засвідчила, що дане питання було актуальним раніше, та нового піку зацікавленості зазнало у 2021 році. Актуальність вирішення даної наукової проблеми полягає в тому, що пандемія Covid-19 вже другий рік не збавляє обертів й уносить життя великої кількості людей у всьому світі. До дієвих способів зупинити її можна віднести: дотримання соціальної дистанції, використання засобів індивідуального захисту. Але їх недостатньо, тому масова вакцинація населення є необхідною превентивною мірою. Дослідження питання об'єднання країн у групи в залежності від швидкості резильєнтності до вірусу та кількості вакцинованого населення здійснено в статті в наступній логічній послідовності: 1) збір та обробка статистичних даних; 2) перетворення абсолютних показників у відносні, в залежності від кількості населення в країні; 3) проведення нормалізації даних; 4) застосування кластерного аналізу. Методичним інструментарієм проведеного дослідження стали методи обробки статистичних даних, метод k-середніх кластерного аналізу, метод Харрінгтона для нормалізації даних. Об'єктом дослідження обрані просторові показники вразливості країн Європи до Covid-19. Дослідження емпірично підтверджує та теоретично доводить, що пандемія Covid-19 розвивається диференційовано, так само диференційовано проводиться і політика вакцинації у досліджуваних країнах. В результаті кластерного аналізу виділена група країн (Австрія, Бельгія, Німеччина, Гренландія, Греція, Данія, Ірландія, Ісландія, Іспанія, Італія, Ліхтенштейн, Люксембург, Мальта, Монако, Нідерланди, Португалія, Франція, Швейцарія, Швеція), яка повинна стати взірцем для інших, адже їм притаманний високий рівень вакцинованого населення та порівняно низькі темпи зростання інфікованого населення на рівні з відносно низьким рівнем смертності.

Ключові слова: кластерний аналіз, пандемія, коронавірус, міждержавний аналіз, Європа

DOI: 10.21272/1817-9215.2021.1-35

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Станом на 5 квітня 2021 року у світі вірусом COVID-19 вже інфіковано 161 млн. осіб, з яких 3,25млн. осіб померло. Цифри дуже вражаючі, адже кількість людей, що переохворіли у 3 рази перевищує населення України, а кількість померлих удвічі більша за населення м. Київ. Вірус ще не побороти, а це означає, що дані кожного дня будуть тільки зростати. Серед способів боротьби зі швидким розповсюдженням хвороби є дотримання соціальної дистанції, використання засобів індивідуального захисту, утримання від участі у масових заходах, тощо. Але, за рекомендаціями ВООЗ найефективнішим методом протидії коронавірусній інфекції є вакцинація. Проте, серед населення існує велика кількість побоювань відносно введення вакцини від COVID-19. Причиною цього є відсутність довіри до нововведень та наявність великого обсягу неперевіреної інформації у соціальних мережах. Усього в світі вакциновано 5% населення, а в Україні лише 0,7%. Внаслідок цих суджень

народжується гіпотеза, що в країнах з високим рівнем вакцинації на момент проведення дослідження можна буде прослідкувати зниження кількості нових інфікувань та летальних випадків, спричинених COVID-19, та навпаки.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Достатньо поширеними є наукові дослідження, в яких готовність населення вакцинуватись пов'язується з боротьбою з інфекційними захворюваннями, навіть ще до виникнення пандемії Covid-19. Зокрема, автори статті [1] проаналізували відношення населення країн Європи до вакцин та прийшли до висновку, що найбільшими бар'єрами для людей є або дезінформація, або непоінформованість. Науковці [2] досліджували зв'язок між вакциною БЦЖ та виникненням астми у населення та довели відсутність взаємозв'язку, що є актуальним й у наш час для вакцин від коронавірусної інфекції. Науковці [3] обґрунтовували необхідність та ефективність проведення також вакцинації БЦЖ від туберкульозу. Дослідження [4] присвячено висвітленню шляхів, які допоможуть покращити настрої людей відносно обов'язкової вакцинації. У роботі [5] проведено ґрунтовний аналіз наукової літератури, присвяченої питанням вакцинації та отримано висновки, що велика кількість досліджень присвячена підтвердженню економічної рентабельності проведення політики щеплення дорослого населення. Науковці [6] зосереджують свої погляди на соціальному розриві, який виникає у суспільстві через диференційоване відношення до вакцинації. У науковій роботі [7] на основі статистичної обробки даних було доведено доцільність дотримання режиму імунізації дітей у ранньому віці. Отже, науковою спільнотою, ще до початку пандемії COVID-19 питання вакцинації було актуальним і досліджувалось дуже активно.

Новим сплеском активної уваги світової наукової спільноти стала пандемія, яка виникла у 2020 році по усьому світі. Фармацевти та медики всього світу працювали над розробкою ефективної формули, яка допомогла б зупинити коронавірусну інфекцію. Проте, населення усіх країн світу не було готовим до нової вакцинації. Тому науковці різних спеціальностей змінили вектор своїх досліджень, щоб знайти беззаперечні докази необхідності вакцинуватись. Зокрема, у роботі [8] порівнюється взаємозв'язок між смертністю людей похилого віку та кількістю вакцинованих від грипу, як доказ того факту, що навіть імунізація від суміжних хвороб сприятливо працює на подоланні пандемії. У дослідженні [9] вивчається природа нерішучості населення до вакцинації та стимули підвищення довіри до неї. Науковці [10] із застосуванням методів аналізу та порівняння досліджують вакцини, які створюються у всьому світі, адже вбачають щеплення головним інструментом, що дозволить зменшити карантинні обмеження по всьому світі та витягнути якнайшвидше світову економіку із кризи.

Отже, **метою дослідження** є проведення кластерного аналізу країн Європи, аналізуючи стан захворюваності населення країни та кількості вакцинованого населення.

МЕТОДОЛОГІЯ

Для дослідження обрано 45 європейських країн. Сформовано вибірку статистичних показників [11]:

1) за рівнем вразливості до Covid-19 з початку пандемії до 10.10.2021 року включно: кількість осіб, що були інфіковані коронавірусною хворобою (I); кількість осіб, що вже одужали (H); кількість смертельних випадків, спричинених Covid-19 (D);

2) кількість хворих станом на 11.10.2021 р. (C);

3) кількість вакцинованих осіб: однією дозою (V1), двома дозами (V2).

Для подальшого проведення узагальненого дослідження, з урахуванням обсягу населення кожної країни, абсолютні статистичні дані перетворимо у відносні, використовуючи формулу (1):

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{N_i} \quad (1)$$

де, x_{ij} – абсолютні статистичні значення i -ї країни за j -показником, N_i – населення i -ї країни ($i=1..45, j=1..5$).

Отримані відносні значення для показників D та H мають низькі значення дисперсії, що негативно вплине на застосування кластерного аналізу, тому проведемо мінімаксну нормалізацію показників методом Харрінгтона (2) для збільшення розкиду фактичних даних на проміжку $[-1;1]$:

$$x_{ij}^{**} = \frac{2 \cdot x_{ij}^* - \left(\max_j x_{ij}^* + \min_j x_{ij}^* \right)}{\max_j x_{ij}^* - \min_j x_{ij}^*} \quad (2)$$

де x_{ij}^* – абсолютні статистичні значення i -ї країни за j -показником; $\min_j x_{ij}^*$ / $\max_j x_{ij}^*$ – відповідно мінімальне та максимальне значення за j -показником.

Отже, задачею кластерного аналізу у даному дослідженні є об'єднання 45 країн у релевантну кількість груп за шістьма параметрами, які характеризують вразливість населення до пандемії та готовність вакцинуватись. Для виконання розбиття множини країн у групи використано Евклідову відстань у шестивимірному просторі (3):

$$\rho(x_{ij}^{**}, x_{kj}^{**}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{45} (x_{ij}^{**} - x_{kj}^{**})^2} \quad (3)$$

Для проведення кластерного аналізу використано програмний продукт Statistica Portable, а саме - інструмент Statistics/Multivariate Exploratory Techniques/Cluster Analysis/k-means clustering. Шляхом перебору була обрана оптимальна кількість кластерів – 4, яка забезпечила найкращі значення показників рівня значущості p , та критерію Фішера F , результати представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дисперсійного аналізу

	Between - SS	df	Within - SS	F	p
V1	4,723984	3	2,436518	26,49728	0,000000
V2	4,295021	3	2,410302	24,35322	0,000000
I	3,805709	3	3,164121	16,43785	0,000000
D	4,716595	3	7,542343	8,54643	0,000158
H	4,231277	3	3,441863	16,80121	0,000000
C	8,400595	3	2,882202	39,83348	0,000000

Between – SS – між групова дисперсійна ознака, df – кількість ітерацій, Within – SS – внутрішньо групова дисперсійна ознака, F – критерій Фішера, p – рівень значимості показника.

Аналіз отриманого результату свідчить про те, що побудована модель відповідає умовам якості та адекватності: всі показники рівня значущості $p < 0,05$, а значення критерію Фішера більші критичного.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати кластерного розбиття європейських країн за показниками вразливості до Covid-19 та відповідної вакцинації представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Рівні резильєнтності до Covid-19 та вакцинації у відповідності до кластерного аналізу

	V1	V2	I	D	H	C
1 кластер	високий	високий	середній	середній	середній	низький
2 кластер	середній	середній	високий	високий	високий	середній
3 кластер	середній	середній	середній	низький	низький	високий
4 кластер	низький	низький	низький	високий	середній	середній

У результаті аналізу розбиття країн на 4 групи отримаємо 1 кластер, який характеризується високим рівнем вакцинації населення (як однією, так і обома дозами) та низьким рівнем кількості інфікованих за один день; показники вразливості до пандемії за весь період залишаються на середньому рівні, у порівнянні з відповідними значеннями для країн, що потрапили в інші кластери. До цієї групи країн потрапило 19 країн, які на рисунку 1 зображені синім кольором: Австрія, Бельгія, Німеччина, Гренландія, Греція, Данія, Ірландія, Ісландія, Іспанія, Італія, Ліхтенштейн, Люксембург, Мальта, Монако, Нідерланди, Португалія, Франція, Швейцарія, Швеція.

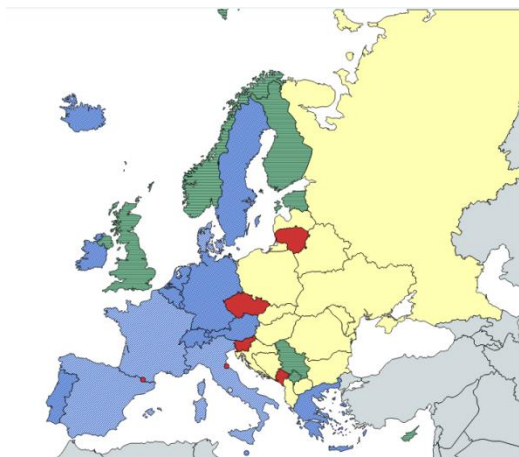


Рисунок 1 – Результати кластерного аналізу на карті Європи (1 кластер – синій колір, 2 кластер – червоний, 3 кластер – зелений, 4 кластер – жовтий)

До 2 кластеру потрапило 6 країн (червоний колір на рисунку 1): Андорра, Литва, Сан-Марино, Словенія, Чорногорія та Чехія. Ці країни характеризуються середнім рівнем кількості вакцинованого населення, високим рівнем вразливості населення до Covid-19 за весь період та середнім рівнем приросту інфікованих за день.

Країни 3 кластеру мають середній рівень вакцинованого населення у відповідній країні, середні рівні кількості інфікованих за весь час та за одну добу, але низькі рівні смертності та кількості одужавши за весь період. На рисунку 1 країни представлені зеленим кольором: Великобританія, Кіпр, Норвегія, Сербія, Фінляндія та Естонія.

Решта країн потрапили до 4 кластеру (14 країн): Албанія, Білорусь, Болгарія, Боснія та Герцеговина, Угорщина, Латвія, Македонія, Молдова, Польща, Росія, Румунія, Україна, Словаччина та Хорватія. На відміну від попередніх груп країн, цей кластер характеризується низьким рівнем вакцинованого населення та високим рівнем смертності населення, при середньому рівні кількості населення, які інфіковані за добу та одужали за весь період.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного кластерного аналізу країн Європи найкраща ситуація склалась у групі країн 1: Австрія, Бельгія, Німеччина, Гренландія, Греція,

Данія, Ірландія, Ісландія, Іспанія, Італія, Ліхтенштейн, Люксембург, Мальта, Монако, Нідерланди, Португалія, Франція, Швейцарія, Швеція. Для цих країн характерним є низька швидкість приросту нових випадків захворювань та середній рівень смертності, спричинений COVID-19, разом із достатньо високим рівнем вакцинованого населення. Та навпаки, 4 група країн (Албанія, Білорусь, Болгарія, Боснія та Герцеговина, Угорщина, Латвія, Македонія, Молдова, Польща, Росія, Румунія, Україна, Словаччина та Хорватія) має низький рівень вакцинованого населення та високий рівень смертності. Таким чином, згідно проведеного наукового дослідження, можна прийти до висновку, що проведення масової вакцинації від COVID-19 дійсно має позитивний ефект на зниження захворюваності серед населення, навіть за достатньо короткий термін її впровадження. Імунізація населення - це не єдина превентивна міра для боротьби з коронавірусом, потрібно дотримуватись соціальної відповідальності: притримуватись необхідних дистанцій у місцях скупчень людей, правильно користуватись засобами індивідуального захисту та не займатись самолікуванням. Тільки при комплексному виконанні всіх необхідних вказівок можна буде уникнути локдаунів та карантинів, які наносять нищівний удар по світовій економіці.

SUMMARY

Kashcha M., Chuhayeva O., Grek K. Reaction European population to the Covid-19 vaccination process using cluster analysis.

The paper presents the results of scientific research on the impact of preventive measures, namely immunization of the population, on the spread of the Covid-19 virus. The study's primary purpose is to conduct a cluster analysis of European countries to analyze the incidence of the population, the number of deaths, and cases of complete recovery, depending on the number of vaccinated population. Systematization of literature sources and approaches to solving the problem of establishing public confidence in vaccination and theoretical proof of the effectiveness of vaccinations against diseases for which this may have shown that this issue was relevant before, and a new peak of interest in 2021. The urgency of solving this scientific problem is that the Covid-19 pandemic for the second year does not slow down and take many people's lives around the world. Among the effective ways to stop it is to maintain social distance, use personal protective equipment, but not enough, so mass vaccination of the population is a necessary preventive measure. The study of the issue of grouping countries depending on the rate of resistance to the virus and the number of vaccinated population in the article was carried out in the following logical sequence: 1) collection and processing of statistics; 2) conversion of absolute indicators into relative, depending on the population in the country; 3) data normalization; 4) application of cluster analysis. The methodological tools of the study were methods of statistical data processing, the process of k-means cluster analysis, Harrington's strategy for data normalization. The object of the study was to select spatial indicators of the vulnerability of European countries to Covid-19. The study empirically confirms and theoretically proves that the Covid-19 pandemic is developing differently and differentiated vaccination policies in the studied countries. As a result of the cluster analysis, a group of countries (Austria, Belgium, Germany, Greenland, Greece, Denmark, Ireland, Iceland, Spain, Italy, Liechtenstein, Luxembourg, Malta, Monaco, Netherlands, Portugal, France, Switzerland, Sweden) identified should become a model for others. It is characterized by a high vaccinated population and relatively low growth rates of the infected population at a relatively low mortality rate.

Key words: cluster analysis, pandemic, coronavirus, interstate analysis, Europe

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yaqub O., Castle-Clarke S., Sevdalis, N., Chataway, J. Attitudes to vaccination: A critical review. *Social Science & Medicine*. 2014. V. 112. P. 1-11. Doi: 10.1016/j.socscimed.2014.04.018.
2. Park S.S., Heo E.Y., Kim D.K., Chung H.S., Lee C.H. The Association of BCG Vaccination with Atopy and Asthma in Adults. *International Journal of Medical Sciences*. 2015. V 12, No 8. P. 668-673. DOI: 10.7150/ijms.12233.
3. Principi N., Esposito S. The present and future of tuberculosis vaccinations. *Tuberculosis*. 2015. V 95, No 1. P. 6-13. Doi 10.1016/j.tube.2014.10.004.
4. Brito D. L., Sheshinski E., Intriligator M. D. Externalities and compulsory vaccinations. *Journal of Public Economics*. 1991. V 45, No 1. P. 69-90. Doi:10.1016/0047-2727(91)90048-7.
5. Leidner A. J., Murthy N., Chesson H. W., Biggerstaff M., Stoecker C., Harris A. M., Acosta A., Dooling K., Bridges C. B. Cost-effectiveness of adult vaccinations: A systematic review. *Vaccine*. 2019. V 37, No 2. P. 226-234. Doi: 10.1016/j.vaccine.2018.11.056.
6. Joslyn M. R., Sylvester S. M. The Determinants and Consequences of Accurate Beliefs About Childhood Vaccinations. *American Politics Research*, 2019. Vo 47, No 3. P. 628-649. Doi: 10.1177/1532673X17745342

7. Kurosky S. K., Davis K. L., Krishnarajah G. Completion and compliance of childhood vaccinations in the United States. *Vaccine*. V 34, No 3. P. 387-394. Doi: 10.1016/j.vaccine.2015.11.011.
8. Moore S., Hill E. M., Tildesley M. J., Dyson L., Keeling M. J. Vaccination and non-pharmaceutical interventions for COVID-19: a mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*. 2021. V 21, No 6. P. 793-802. Doi: 10.1016/S1473-3099(21)00143-2.
9. Zanettini, C., Omar, M., Dinalankara, W., Imada, E. L., Colantuoni, E., Parmigiani, G., & Marchionni, L. (2020). Influenza Vaccination and COVID19 Mortality in the USA. medRxiv : the preprint server for health sciences, 2020.06.24.20129817. <https://doi.org/10.1101/2020.06.24.20129817>
10. Steven, T., Caeleigh A. L., Michelle M., P., Rosalind, G., Geoffrey S. R., Gordon A. J. G.A (2020) Proactive Approach for Managing COVID-19: The Importance of Understanding the Motivational Roots of Vaccination Hesitancy for SARS-CoV2. *Frontiers in Psychology*. V 11, 2020, PAGES 2890, URL=<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2020.575950> DOI=10.3389/fpsyg.2020.575950
11. Mehan, A., Venkatesh, A., & Girish, M. COVID-19: should oral vaccination strategies be given more consideration? *Therapeutic Advances in Vaccines and Immunotherapy*. 2020. <https://doi.org/10.1177/2515135520946503>
12. Our World in Data (2021) Retrieved from <https://ourworldindata.org> (accessed 10.10.2021)

REFERENCES

1. Yaqub, O., Castle-Clarke, S., Sevdalis, N., & Chataway, J. (2014) Attitudes to vaccination: A critical review. *Social Science & Medicine*, Volume 112, Pages 1-11, doi: 10.1016/j.socscimed.2014.04.018.
2. Park, S., S., Heo, E., Y., Kim, D., K., Chung, H., S., & Lee C., H (2015) The Association of BCG Vaccination with Atopy and Asthma in Adults. *International Journal of Medical Science*, 2015, Volume 12(8), Pages 668-673. DOI: 10.7150/ijms.12233.
3. Principi, N., & Esposito, S. (2014) The present and future of tuberculosis vaccinations, *Tuberculosis*, Volume 95, Issue 1, Pages 6-13. Doi: 10.1016/j.tube.2014.10.004.
4. Brito, D., L., Sheshinski, E., & Intriligator, M., D. (1991) Externalities and compulsory vaccinations, *Journal of Public Economics*, Volume 45, Issue 1, Pages 69-90. Doi: 10.1016/0047-2727(91)90048-7.
5. Leidner, A., J., Murthy, N., Chesson, H., W., Biggerstaff, M., Stoecker, C., Harris, A., M. Acosta, A., Dooling, K., Bridges, C., B. (2019) Cost-effectiveness of adult vaccinations: A systematic review. *Vaccine*, Volume 37, Issue 2, Pages 226-234. Doi: 10.1016/j.vaccine.2018.11.056.
6. Joslyn, M. R., & Sylvester, S. M. (2019). The Determinants and Consequences of Accurate Beliefs About Childhood Vaccinations. *American Politics Research*, 47(3), 628–649. Doi: 10.1177/1532673X17745342
7. Kurosky, S., K., Davis, K., L., & Krishnarajah, G. (2016) Completion and compliance of childhood vaccinations in the United States. *Vaccine*, Volume 34, Pages 387-394. Doi: 10.1016/j.vaccine.2015.11.011.
8. Zanettini, C., Omar, M., Dinalankara, W., Imada, E. L., Colantuoni, E., Parmigiani, G., & Marchionni, L. (2020). Influenza Vaccination and COVID19 Mortality in the USA. medRxiv : the preprint server for health sciences, 2020.06.24.20129817. Doi: 10.1101/2020.06.24.20129817
9. Steven, T., Caeleigh A. L., Michelle M., P., Rosalind, G., Geoffrey S. R., & Gordon A. J. G.A (2020) Proactive Approach for Managing COVID-19: The Importance of Understanding the Motivational Roots of Vaccination Hesitancy for SARS-CoV2. *Frontiers in Psychology*. V 11, 2020, PAGES 2890, DOI:10.3389/fpsyg.2020.575950
10. Mehan, A., Venkatesh, A., & Girish, M. (2020). COVID-19: should oral vaccination strategies be given more consideration? *Therapeutic Advances in Vaccines and Immunotherapy*. Doi:10.1177/2515135520946503
11. Our World in Data (2021) Retrieved from <https://ourworldindata.org> (accessed 10.10.2021)