

опалення, впливу соціально-економічних факторів на енергоспоживання та застосування методів кластерного аналізу для групування регіонів за схожими паливно-енергетичними характеристиками.

Мета та завдання. Метою дослідження є підвищення адекватності прийняття рішень під час планування споживання теплової енергії шляхом аналізу впливу зовнішньої температури на питоме споживання газу теплоджерелами з урахуванням тарифів на централізоване опалення по регіонах України.

Матеріали і результати дослідження.

Дані для дослідження були отримані з офіційних джерел, включаючи Державну службу статистики України та інші національні агентства, що надають інформацію про тарифи на опалення, чисельність населення та площу областей [9, 10, 16, 17, 18].

Для виявлення груп регіонів з подібними характеристиками було проведено кластерний аналіз методом *k*-середніх [4]. Цей метод дозволяє розділити сукупність даних на *k* груп, так щоб регіони всередині кожної групи були максимально схожими між собою за обраними ознаками (тарифами на опалення та чисельністю населення), а регіони з різних груп – максимально відрізнялися.

Для оцінки зв'язку між чисельністю населення та тарифами на опалення було проведено регресійний аналіз [9, 10]. Це дозволило виявити можливі кореляції та взаємозалежності між соціально-економічними показниками та енергоспоживанням.

Для кращого розуміння та інтерпретації результатів аналізу були створені графіки та діаграми, що відображають розподіл тарифів по регіонах, зв'язок між чисельністю населення та тарифами, а також результати кластерного та ієрархічного аналізу.

Основою для аналізу впливу зовнішньої температури на споживання газу є закони теплопередачі. Питоме споживання газу залежить від тепловтрат будівлі або споруди, які визначаються різницею температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем. Теплопередача відбувається за трьома основними механізмами: теплопровідність, конвекція та випромінювання. У контексті будівель найважливішим є процес теплопровідності, який описує передачу тепла через матеріали будівельних конструкцій.

Тепловий баланс будівлі можна описати рівнянням теплопередачі [6, 8]:

$$Q = k \cdot A \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}}),$$

де: *Q* – теплові втрати, *k* – коефіцієнт теплопередачі, *A* – площа поверхні будівлі, *T_{вн}* – внутрішня температура, *T_{зовн}* – зовнішня температура.

Для підтримки комфортної температури всередині приміщення необхідно компенсувати ці теплові втрати. Споживання газу для цієї компенсації визначається кількістю тепла, необхідного для підтримання заданої температури. Це споживання описується наступною формулою [5, 6, 7, 8, 11]:

$$G = \frac{Q}{\eta \cdot H} \cdot \eta \cdot H,$$

де: *G* – споживання газу, *Q* – теплові втрати, η – ефективність теплогенератора, *H* – теплотворна здатність газу.

Оптимізація споживання газу включає в себе заходи щодо зменшення тепловтрат (покращення теплоізоляції, встановлення енергоефективних вікон тощо) та підвищення рівня ефективності теплогенераторів (використання сучасних котлів з високим коефіцієнтом корисної дії).

Врахування всіх цих аспектів дозволяє значно знизити витрати на опалення та підвищити енергоефективність будівель.

Тарифи на централізоване опалення в Україні значно варіюються в залежності від області (рисунок 2). Ці відмінності зумовлені різними факторами, включаючи економічний розвиток регіону, вартість енергоресурсів, інфраструктурні особливості, а також політику місцевих органів влади.

Для аналізу зв'язку між чисельністю населення та тарифом на опалення використовувалось лінійне регресійне рівняння [2, 3, 4, 11, 14]:

$$T = a + b \cdot N,$$

де: *T* – середньозважений тариф на опалення, *N* – чисельність населення, *a* і *b* – коефіцієнти регресії, що визначаються методом найменших квадратів.

Чисельність населення взята за даними станом на лютий 2022 року, а середньозважений тариф на опалення — від 25 червня 2024 року [16, 17].

Аналіз даних показує, що існує певний зв'язок між чисельністю населення та тарифами на опалення (рисунок 3). Регіони з більшою чисельністю населення мають тенденцію до нижчих тарифів.

Таким чином, зв'язок між чисельністю населення та тарифами на опалення вказує на те, що регіони з більшою чисельністю населення мають певні переваги в економії на масштабі та ефективності інфраструктури. Це підкреслює важливість стратегічного планування розвитку теплопостачальних систем, особливо в менш густонаселених та економічно слабких регіонах.

Для кластерного аналізу областей використовувався метод *k*-середніх. Цей метод дозволяє групувати регіони за схожими характеристиками, такими як чисельність населення та тариф на опалення. Кількість кластерів *k* визначалась за допомогою методу "лікоть", який полягає в аналізі залежності суми квадратів відхилень (RSS) від кількості кластерів.

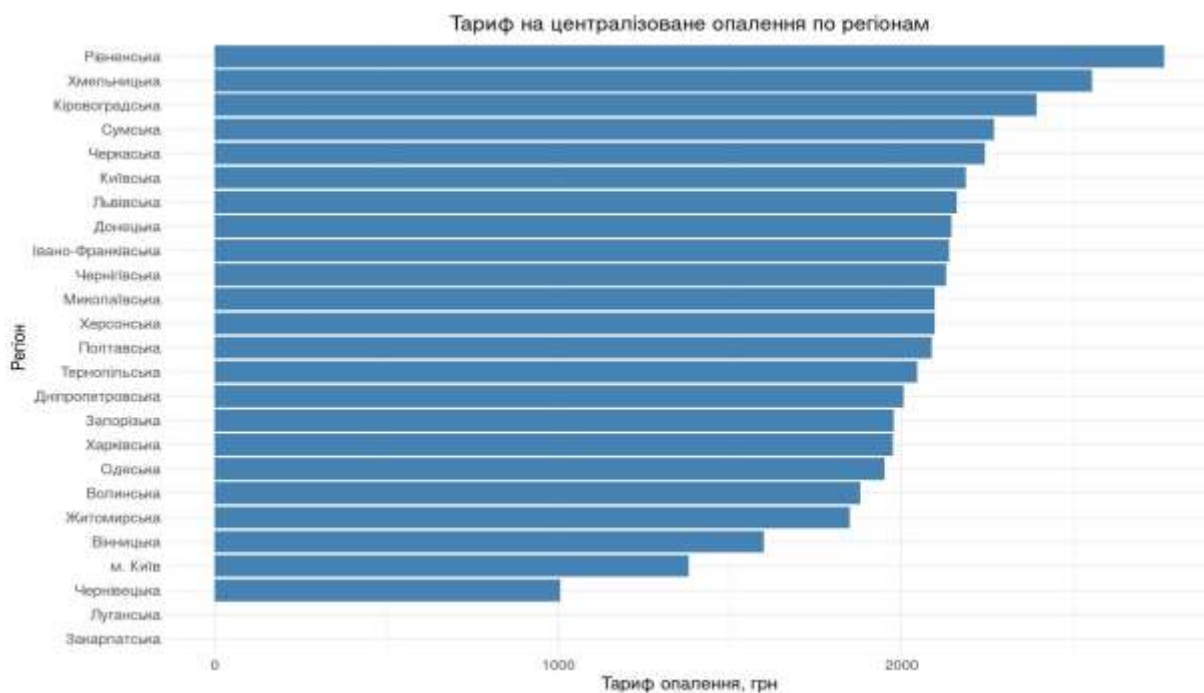


Рисунок 2 - Тариф на централізоване опалення по регіонам

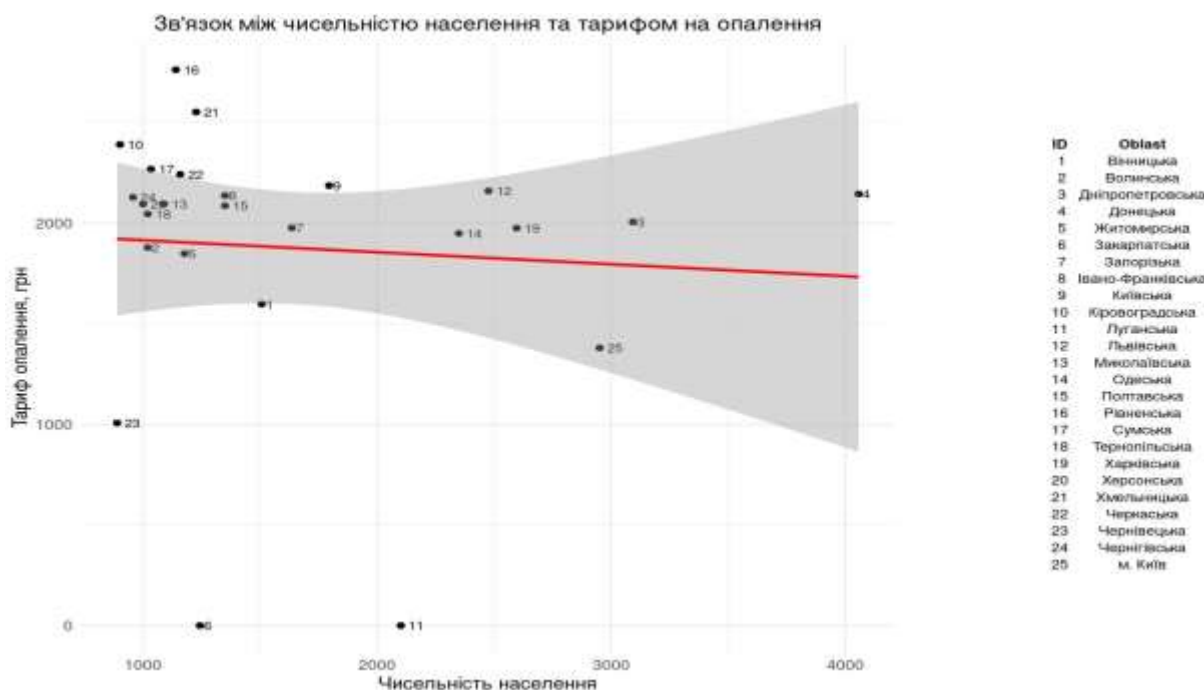


Рисунок 3 - Зв'язок між чисельністю населення та тарифом на опалення

Формально, RSS визначається як [4]:

$$RSS(k) = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in C_i} \|x_j - \mu_i\|^2,$$

де: C_i – кластер, x_j – точка даних (наприклад, область), μ_i – центроїд (середнє значення) кластера C_i , RSS – сума квадратів відхилень.

Попередня обробка даних: Дані нормалізуються для забезпечення порівнянності різних параметрів, таких як чисельність населення і тарифи на опалення.

Інтерпретація результатів: регіони з подібними характеристиками групуються в одні й ті ж кластери, що дозволяє виявити регіональні особливості та патерни.

Результати кластерного аналізу дозволяють визначити регіони, які мають схожі показники чисельності населення та тарифів на опалення (рисунок 4). Це може допомогти в розробці цільових стратегій щодо оптимізації витрат на опалення та підвищення ефективності використання енергоресурсів.

Кластерний аналіз також може виявити регіони, які потребують додаткових інвестицій у інфраструктуру або мають потенціал для зниження тарифів завдяки економії на масштабі. Таким чином, застосування методу k-середніх сприяє кращому розумінню регіональних відмінностей та допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень щодо політики у сфері теплопостачання.

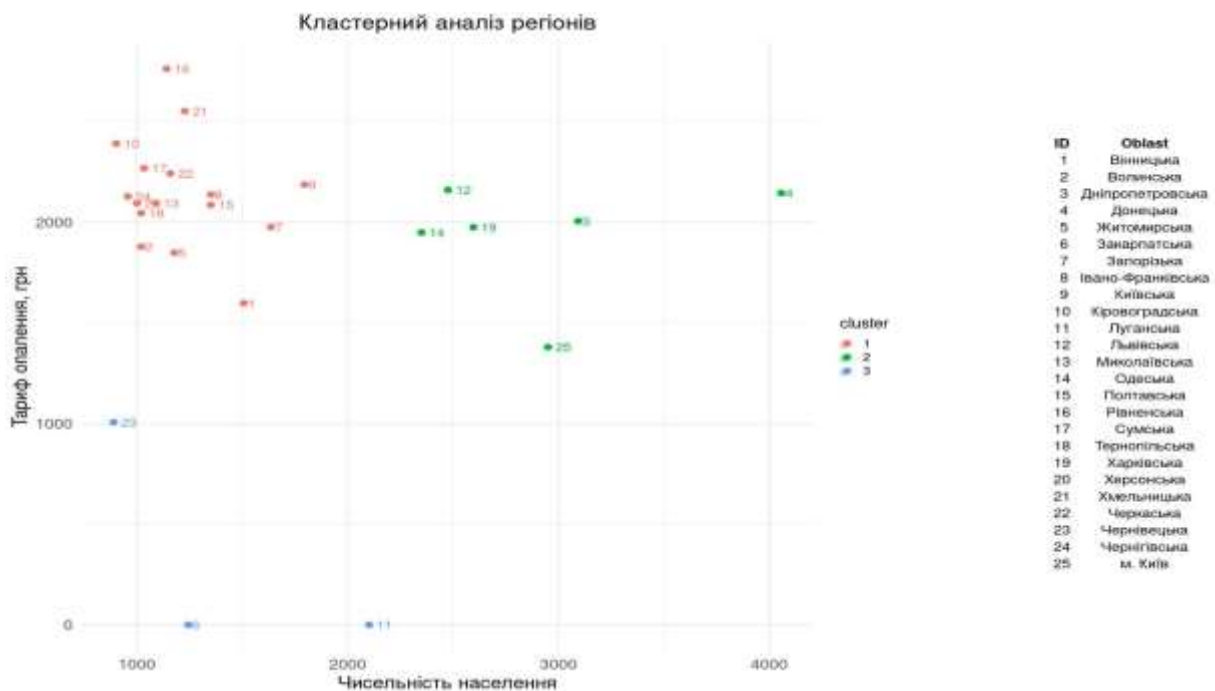


Рисунок 4 - Кластерний аналіз регіонів

Ієрархічна класифікація є методом кластерного аналізу, який використовується для побудови дерева (дендрограми), що відображає ієрархічну структуру об'єднання регіонів в кластери. У цьому дослідженні застосовувався метод агломеративної кластеризації, де кожна область спочатку розглядається як окремий кластер, а потім поступово об'єднується з найближчими кластерами, формуючи більші групи.

На початку кожний регіон є окремим кластером. Таким чином, якщо є n регіонів, то спочатку є n кластерів.

На кожному кроці алгоритму обчислюється відстань між всіма парами кластерів. Відстань між кластерами визначається за формулою [4]:

$$d(A, B) = \min_{a \in A, b \in B} d(a, b),$$

де: A і B – два кластери, $d(a, b)$ – евклідова відстань між об'єктами a та b , що належать до кластерів A і B відповідно.

Після обчислення відстаней, два кластери, між якими відстань мінімальна, об'єднуються в один кластер. Це об'єднання мінімізує загальну відстань між об'єктами у новому кластері.

Процес обчислення відстаней та об'єднання кластерів повторюється до тих пір, поки всі об'єкти не будуть об'єднані в один великий кластер. На кожному кроці кількість кластерів зменшується на один.

Результатом ієрархічної кластеризації є дендрограма – дерево, що відображає процес об'єднання кластерів. Дендрограма дає змогу візуально оцінити структуру даних та визначити оптимальну кількість кластерів, аналізуючи висоту гілок дерева.

Ієрархічна класифікація регіонів в цьому дослідженні дозволяє виявити групи регіонів з подібними соціально-економічними та тарифними характеристиками. Це особливо корисно для порівняння регіонів і розробки цільових стратегій управління енергоресурсами.

Наприклад, використовуючи метод Варда (Ward's method), який мінімізує суму квадратів відхилень в межах кластерів, можна побудувати дендрограму, де на осях вказані назви регіонів, а не просто номери. Це забезпечує наочність та зручність у трактуванні результатів, дозволяючи легко ідентифікувати регіони, які мають схожі властивості щодо споживання енергії та тарифів.

Ієрархічна класифікація регіонів України дозволяє виявити приховані закономірності та взаємозв'язки між регіонами, що сприяє більш ефективному управлінню енергоресурсами та розробці регіональних енергетичних стратегій. Результати ієрархічної кластеризації областей України за площею регіонів, за густиною опалення та за тарифами на опалення наведені відповідно на рисунках 5-7.

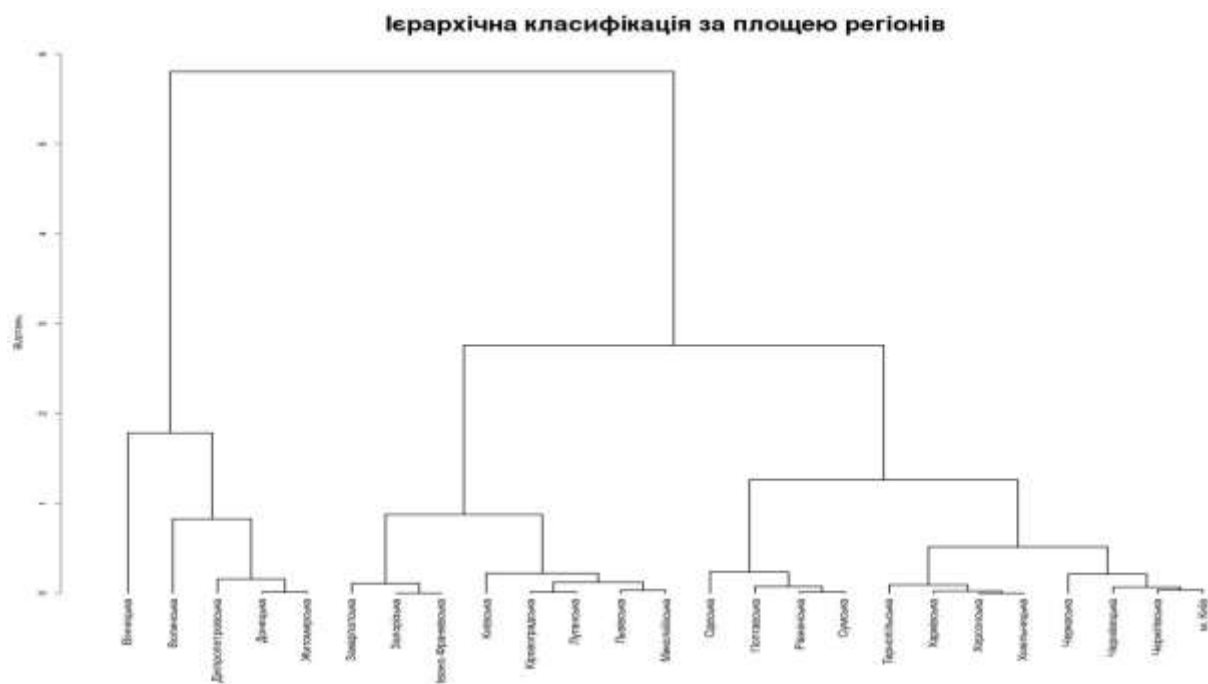


Рисунок 5 - Ієрархічна класифікація за площею регіонів

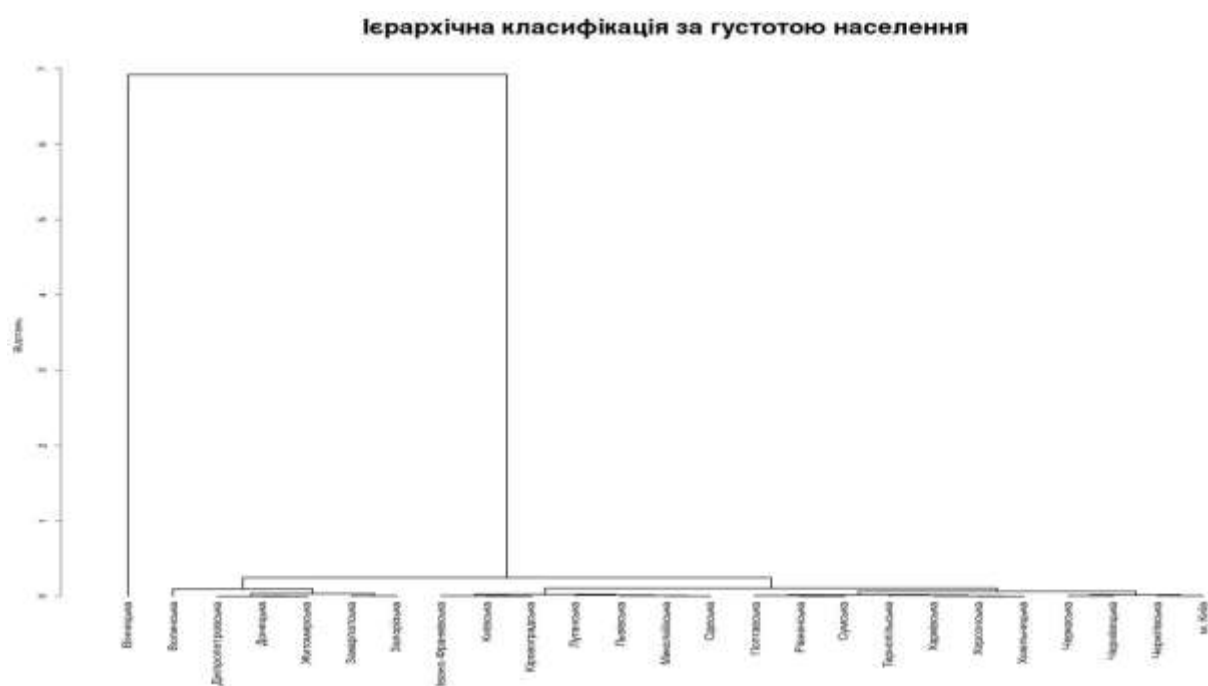


Рисунок 6 - Ієрархічна класифікація за густиною населення

Співвідношення чисельності населення до площі регіону є важливим показником, який характеризує густину населення. Густина населення відображає, наскільки щільно заселені різні регіони, і є ключовим фактором при плануванні економічної та соціальної інфраструктури. Це співвідношення може впливати на різні аспекти регіонального розвитку, включаючи доступність послуг, транспортну інфраструктуру, а також на тарифи на централізоване опалення.

Густина населення (ρ) визначається за формулою [3, 9]:

$$\rho = \frac{S}{N}$$

де: ρ – густина населення (осіб на квадратний кілометр), N – чисельність населення області, S – площа регіону (квадратні кілометри).

Чисельність населення взята за даними станом на лютий 2022 року [16, 18].

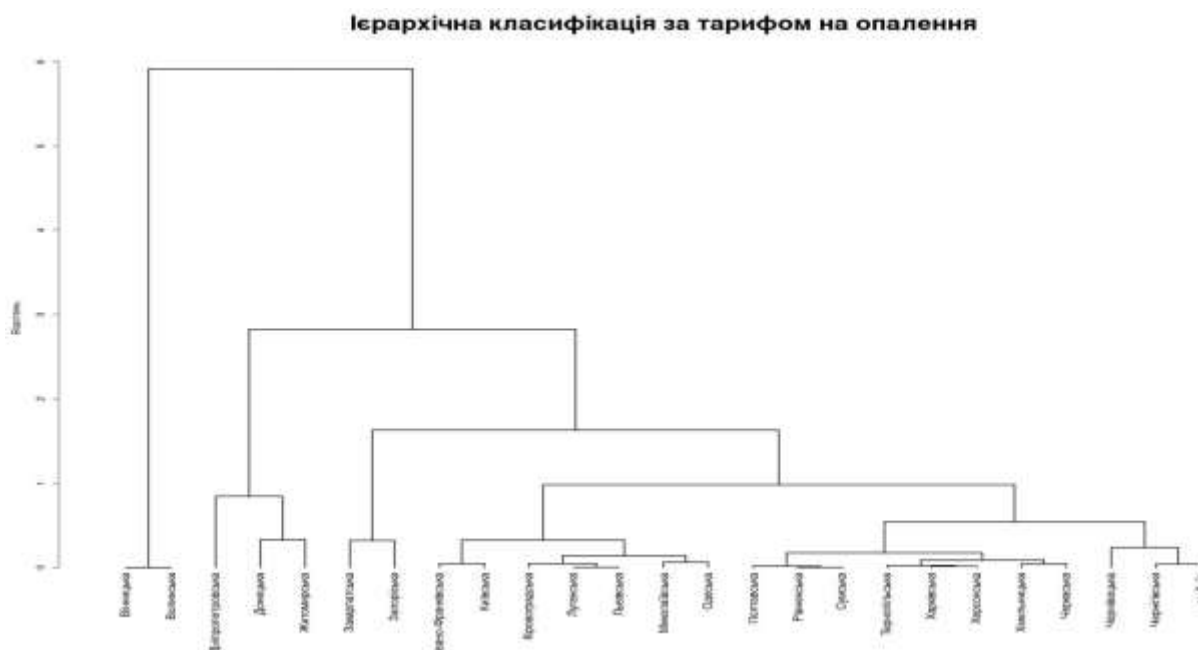


Рисунок 7 - Ієрархічна класифікація за тарифом на опалення

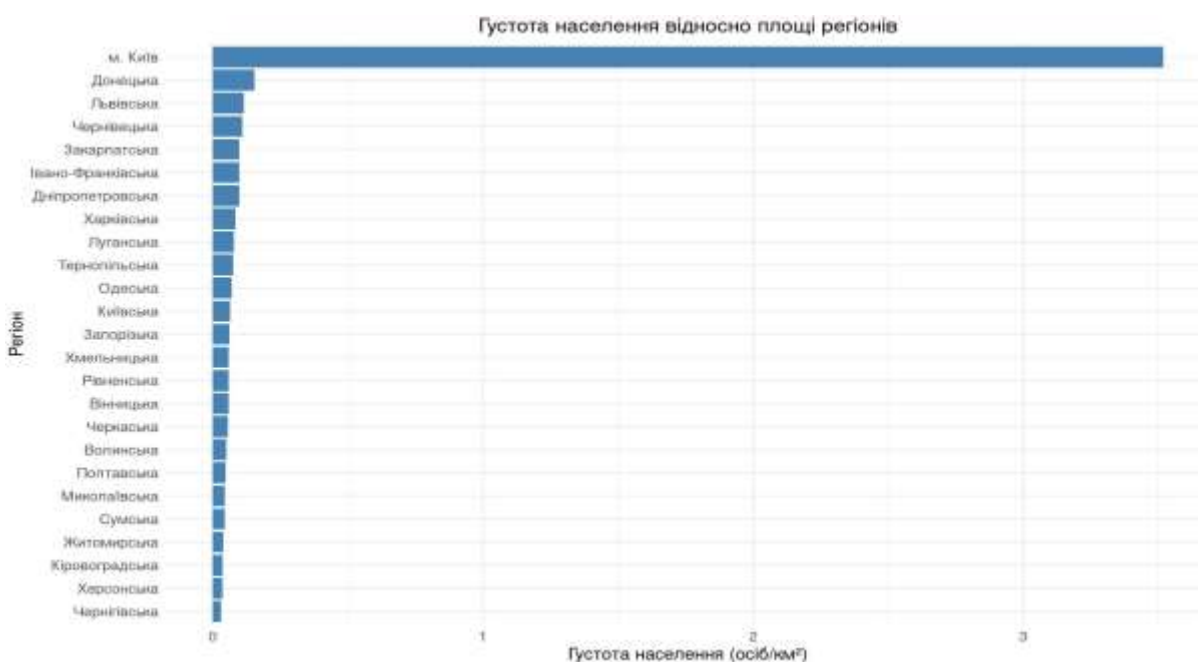


Рисунок 8 - Густота населення відносно площі регіонів

При аналізі густини населення регіонів України виявлено значні відмінності між регіонами. Наприклад, густонаселені регіони, такі як Київська та Донецька, мають вищу концентрацію населення на одиницю площі порівняно з менш густонаселеними регіонами, такими як Чернівецька та Житомирська області.

Візуалізація густини населення по регіонах дозволяє наочно побачити, як розподіляється населення по країні. Це може бути корисним для розробки політики регіонального розвитку, планування нових проектів інфраструктури та оптимізації розподілу ресурсів.

Таким чином, аналіз густини населення відносно площі регіонів є важливим інструментом для розуміння соціально-економічних умов та планування розвитку регіонів України. Співвідношення густини населення відносно площі регіонів наведено на рисунку 8.

Аналіз тарифів на опалення залежно від чисельності населення проводився з використанням регресійних моделей, які включали класифікацію регіонів. Це дозволило врахувати не лише чисельність населення, але й інші регіональні характеристики, які могли впливати на тарифи.

Для оцінки впливу чисельності населення та класифікаційної змінної (кластеру) на тарифи на опалення використовувалась наступна регресійна модель [1, 2, 10]:

$$T_i = \alpha + \beta \cdot N_i + \gamma \cdot C_i,$$

де: T_i – середньозважений тариф на опалення в регіоні i , N_i – чисельність населення в регіоні i , C_i – класифікаційна змінна (кластер) для регіону i , α – константа (вільний член), β – коефіцієнт регресії для чисельності населення, γ – коефіцієнт регресії для класифікаційної змінної.

Чисельність населення взята за даними станом на лютий 2022 року, а середньозважений тариф на опалення — від 25 червня 2024 року [16, 17].

Аналіз показав, що чисельність населення є значущим фактором, який впливає на тарифи на опалення. В регіонах з більшою чисельністю населення тарифи на опалення можуть бути нижчими завдяки економії на масштабі та ефективнішому використанню інфраструктури.

Додавання класифікаційної змінної до моделі дозволило врахувати регіональні відмінності, які не можна пояснити лише чисельністю населення. Регіони, згруповані в різні кластери, показали відмінності в тарифах на опалення, що свідчить про важливість врахування додаткових регіональних характеристик.

Результати моделювання можуть бути використані для прогнозування тарифів на опалення в різних регіонах на основі чисельності населення та кластерних характеристик. Це дозволяє планувати енергетичну політику та оцінювати вплив змін у чисельності населення на тарифи на опалення.

Для візуалізації результатів аналізу побудовано графік (рисунок 9), що показує тариф на опалення залежно від чисельності населення з класифікацією областей. На графіку видно різницю в тарифах для різних кластерів, що підтверджує значущість врахування регіональних особливостей.

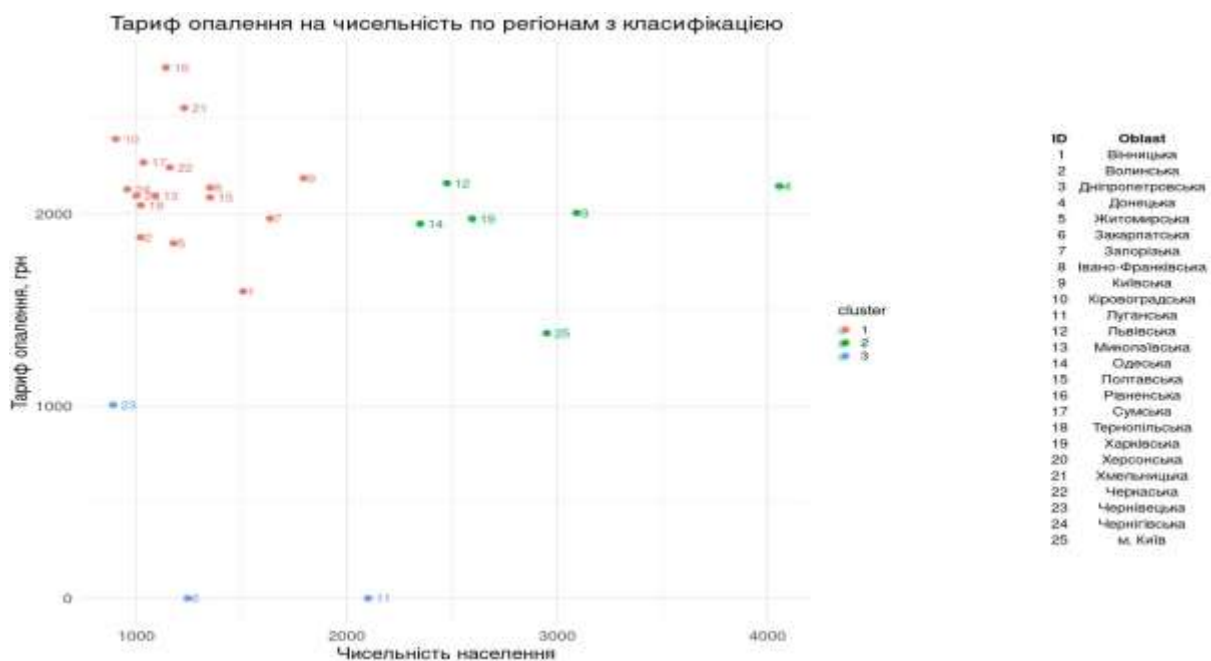


Рисунок 9 - Тариф опалення на чисельність населення по регіонам з класифікацією

Такий підхід до аналізу дозволяє глибше зрозуміти взаємозв'язок між соціально-економічними показниками та тарифами на енергетичні послуги, що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень у сфері енергетики та комунальних послуг.

Висновки.

Аналіз впливу зовнішньої температури на питоме споживання газу теплогерел показав значний вплив цього фактору на енергетичні потреби. Зниження температури зовнішнього повітря призводить до збільшення теплових втрат будівель, що вимагає більших обсягів споживання газу для підтримання комфортних внутрішніх умов. Це підкреслює важливість врахування кліматичних умов при плануванні та управлінні енергоспоживанням.

Врахування тарифів на опалення, чисельності населення та інших регіональних особливостей є критично важливим для розробки стратегій підвищення ефективності використання газу. Висока варіабельність тарифів по регіонах України свідчить про неоднорідність економічного розвитку та інфраструктури, що вимагає індивідуального підходу до кожного регіону.

Кластерний аналіз методом k-середніх дозволив виявити групи регіонів з подібними характеристиками. Це допомагає розуміти, як різні соціально-економічні фактори впливають на тарифи та споживання газу. Класифікація на основі подібностей у характеристиках регіонів сприяє ефективнішому плануванню та оптимізації енергетичної політики.

Ієрархічна класифікація регіонів, проведена методом агломеративної кластеризації, надала додаткову інформацію про структурні зв'язки між регіонами. Цей метод дозволяє побудувати "дерево" схожостей між областями, що може бути використане для більш глибокого розуміння регіональних відмінностей і взаємозв'язків.

Практичні висновки дослідження включають: розробка адаптованих енергетичних стратегій: врахування регіональних особливостей дозволяє розробляти більш точні та ефективні стратегії управління енергоспоживанням; оптимізація тарифної політики: аналіз тарифів та їх взаємозв'язок з іншими показниками може сприяти формуванню справедливої тарифної політики; підвищення енергоефективності: виявлені залежності допомагають визначити ключові фактори, що впливають на енергоефективність, та розробити заходи для її підвищення; інвестиції в інфраструктуру: виявлені кластерні групи областей можуть бути використані для визначення пріоритетів інвестицій в енергетичну інфраструктуру; регіональні програми зниження споживання газу: на основі результатів дослідження можна розробляти регіональні програми, спрямовані на зниження споживання газу.

Загалом, дослідження підтвердило важливість комплексного підходу до управління енергоспоживанням, який враховує кліматичні, економічні та соціальні фактори, а також дозволяє знаходити оптимальні рішення для різних регіонів України.

Список використаної літератури

1. Іванов, О. О., Ковальчук, А. П. Вплив температурного режиму на споживання природного газу для опалення в різних регіонах. *Енергетика України*, 2020. – 145 с.
2. Смирнов, Д. М., Лебедев, І. В. Аналіз тарифів на централізоване опалення в країнах Європи. *Міжнародний енергетичний журнал*, 2019. – 120 с.
3. Петренко, Ю. В. Вплив чисельності населення на споживання газу: регіональний аспект. *Соціально-економічні дослідження в Україні*, 2021. – 110 с.
4. Сидоренко, М. С., Захарченко, В. І. Кластерний аналіз регіонів України за споживанням енергоресурсів. *Науковий вісник Національного університету "Києво-Могилянська академія"*, 2022. – 95 с.
5. Голубев, П. П., Романюк, О. Г. Ефективність використання конденсаційних котлів у теплогенерації. *Технічні науки: сучасні дослідження та інновації*, 2021. – 134 с.
6. Петров В.В. "Енергозбереження в будівлях: теорія та практика". – Київ: Наукова думка, 2018. – 210 с.
7. Іваненко О.М. "Теплопостачання та теплогенерація". – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 180 с.
8. Сидоренко П.П. "Моделювання теплових процесів у будівлях". – Львів: ЛНУ, 2020. – 160 с.
9. Державна служба статистики України. Показники чисельності населення по областях. – Статистичний звіт.
10. Міністерство енергетики України. Тарифи на централізоване опалення по областям. – Офіційний звіт.
11. Кравченко І.Г. "Енергетичний менеджмент: принципи та практика". – Одеса: ОНУ, 2021. – 200 с.
12. Литвиненко С.В. "Вплив кліматичних умов на споживання енергії". – Дніпро: ДНУ, 2017. – 175 с.
13. Науменко Т.А. "Економіка енергозбереження в житлово-комунальному господарстві". – Запоріжжя: ЗНУ, 2019. – 190 с.
14. Журнал "Енергетика та електрифікація". Щорічні випуски за 2018-2023 роки. – Періодичне видання.
15. Андрієнко М.В. "Стратегії розвитку систем централізованого теплопостачання". – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 140 с.
16. Середньозважені тарифи. *Держенергоефективності України*: веб-сайт. URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/serednozvazheni-taryfy>. (дата звернення 27.06.2024)
17. Населення України. *Мінфін*: веб-сайт. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/> (дата звернення: 27.06.2024)
18. Територія України. *Інформаційно-довідковий сайт «Україна»*: веб-сайт. URL: http://proukraine.net.ua/?page_id=20. (дата звернення 27.06.2024)

M. Sasko¹, Ph.D student, ORCID 0009-0008-9046-7259

V. Rozen¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-0440-4251

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL TEMPERATURE ON THE SPECIFIC GAS CONSUMPTION OF HEAT SOURCES

The article examines the impact of outdoor temperature on the specific consumption of gas from heat sources, taking into account tariffs for district heating in the regions of Ukraine. The study is aimed at identifying patterns between external climatic conditions and gas consumption for heating, which allows optimizing energy consumption and increasing the efficiency of energy use.

Data on district heating tariffs, population and area of Ukrainian regions were analyzed. The cluster analysis and hierarchical classification of regions were performed, which allowed us to identify groups with similar characteristics of gas consumption and heating tariffs. The ratio of population to area of regions and its impact on gas consumption and tariff policy is investigated.

Keywords: *specific gas consumption, external temperature, heat losses, heating tariffs, population size, population density, cluster analysis, hierarchical classification, regression analysis, energy efficiency, centralized heating.*

References

1. Ivanov, O.O., Kovalchuk, A.P. The influence of the temperature regime on the consumption of natural gas for heating in different regions. *Energy of Ukraine*, 2020. - 145 p.
2. Smirnov, D. M., Lebedev, I. V. Analysis of tariffs for centralized heating in European countries. *International Energy Journal*, 2019. – 120 p.
3. Petrenko, Yu. V. The influence of population on gas consumption: regional aspect. *Socio-economic research in Ukraine*, 2021. – 110 p.
4. Sydorenko, M. S., Zakharchenko, V. I. Cluster analysis of regions of Ukraine by energy consumption. *Scientific Bulletin of the National University "Kyiv-Mohyla Academy"*, 2022. – 95 p.
5. Golubev, P. P., Romanyuk, O. G. Effectiveness of using condensing boilers in heat generation. *Technical sciences: modern research and innovations*, 2021. - 134 p.
6. Petrov V.V. "Energy conservation in buildings: theory and practice". - Kyiv: Naukova dumka, 2018. - 210 p.
7. Ivanenko O.M. "Heat supply and heat generation". – Kharkiv: Khnure, 2019. – 180 p.
8. Sydorenko P.P. "Modeling of thermal processes in buildings". – Lviv: LNU, 2020. – 160 p.
9. State Statistics Service of Ukraine. *Population indicators by region*. - Statistical report.
10. Ministry of Energy of Ukraine. *Tariffs for centralized heating by region*. - Official report.
11. Kravchenko I.H. "Energy management: principles and practice". – Odesa: ONU, 2021.–200 p.
12. Lytvynenko S.V. "Influence of climatic conditions on energy consumption". - Dnipro: DNU, 2017. - 175 p.
13. Naumenko T.A. "Economics of energy saving in housing and communal economy". – Zaporizhzhia: ZNU, 2019. – 190 p.
14. "Energy and Electrification" magazine. Annual issues for 2018-2023. — Periodical.
15. Andrienko M.V. "Development strategies of centralized heat supply systems". – Vinnytsia: VNTU, 2020. – 140 p.
16. Weighted average tariffs [in Ukrainian]. *State Energy Efficiency of Ukraine* [in Ukrainian] [Online]. Available: <https://saee.gov.ua/uk/content/serednozvazheni-taryfy> Accessed on: June 27, 2024)
17. Population of Ukraine [in Ukrainian]. *Ministry of Finance* [in Ukrainian] [Online]. Available: <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/> Accessed on: June 27, 2024)
18. Territory of Ukraine [in Ukrainian]. *Information and reference site Ukraine* [in Ukrainian] [Online]. Available: http://proukraine.net.ua/?page_id=20 Accessed on: June 27, 2024)

Надійшла: 26.08.2024

Received: 26.08.2024