УДК 004.7

Куликовська Н.А.[1], Тіменко А.В.[1,2], Пестов О.Д.[3], Кичак А.А.[2]
[1] старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»
[2] викл. Запорізький авіаційний фаховий коледж ім. О. Г. Івченка
[3] студ. гр. КНТ-513сп НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СЕРТИФІКАТІВ

В умовах глобальних кліматичних змін та зростаючих цін на енергоносії, питання енергоефективності будівель набуває все більшої актуальності. За даними Міжнародного енергетичного агентства, будівлі споживають близько 40% світової первинної енергії та генерують приблизно 24% глобальних викидів CO2. В Україні ця проблема стоїть особливо гостро через застарілий житловий фонд та неефективні системи опалення - будівлі споживають близько 40% всієї енергії країни [1].

Впровадження системи енергетичної сертифікації будівель є важливим кроком у напрямку підвищення їх енергоефективності. Проте процес сертифікації часто виявляється трудомістким та вимагає значних ресурсів. Аналіз останніх досліджень, зокрема робіт [2, 3], показує перспективність застосування автоматизованих методів класифікації для оцінки енергетичних характеристик будівель. Однак питання розробки ефективних моделей класифікації, які враховують специфіку українського будівельного фонду та системи енергетичної сертифікації, залишається недостатньо вивченим.

Метою даного дослідження є розробка та оцінка ефективності моделі класифікації будівель за класом енергетичної ефективності на основі даних з енергетичних сертифікатів України. Особлива увага приділяється вибору та обґрунтуванню параметрів моделі, що забезпечують високу точність класифікації при збереженні інтерпретованості результатів.

Для проведення дослідження використано набір даних з бази енергетичних сертифікатів Держенергоефективності України, доступний на порталі data.gov.ua. Початковий набір даних містив 4225 записів та включав різноманітні характеристики будівель. Після проведення попередньої обробки, яка включала видалення дублікатів та некоректних значень,

фінальний набір склав 3832 записи, що забезпечує репрезентативну вибірку для аналізу.

На етапі попередньої обробки даних було відібрано п'ять ключових характеристик будівель: об'єм, кількість поверхів, питоме енергоспоживання, функціональне призначення та клас енергетичної ефективності. Вибір цих характеристик базується на методиці визначення енергетичної ефективності будівель, затвердженій наказом №169 від 11.07.2018. Вигляд основних даних за функціональним призначенням показано на рис. 1.

[31]:

	№	Місцезнаходження об'єкта сертифікації	Населений пункт	Область	Функціональне призначення	Назва об'єкта сертифікації	Код згідно з ДК 018-2000	Шифр проекту	Рік прийняття в експлуатацію	I
0	1	місто Київ, вулиця Професора Підвисоцького, бу...	м. Київ	Київ	Житловий будинок	ОСББ "Мотор"	NaN	NaN	1965	Ли
1	2	місто Київ, вулиця Воскресенська, будинок 7	м. Київ	Київ	Житловий будинок	ОСББ "Воскресенський-7"	NaN	NaN	1966	Воли
2	3	місто Київ, вулиця Генерала Алмазова, будинок ...	м. Київ	Київ	Громадська будівля	Національний інститут стратегічних досліджень	NaN	NaN	1973	М
3	4	місто Луцьк, вул. Винниченка, 63	м. Луцьк	Волинська	Громадська будівля	Волинський науково – дослідний експертно – кри...	NaN	NaN	1978	Ако
4	5	місто Рівне, вул. Гагаріна, 59	м. Рівне	Рівненська	Громадська будівля	Рівненський науково – дослідний експертно – кр...	NaN	NaN	1990	Ако
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
4220	4221	місто Черкаси, вул. Припортова, 38	м. Черкаси	Черкаська	Житловий будинок	Багатоповерховий житловий будинок	NaN	NaN	1992	Шуп
4221	4222	місто Черкаси, бул. Шевченка, 200	м. Черкаси	Черкаська	Житловий будинок	Багатоповерховий житловий будинок	NaN	NaN	1978	Шуп
4222	4223	місто Черкаси, вул. Героїв Дніпра, 17/п	м. Черкаси	Черкаська	Житловий будинок	Багатоповерховий житловий будинок	NaN	NaN	1998	Шуп
4223	4224	місто Черкаси, вул. Героїв Дніпра, 35/п	м. Черкаси	Черкаська	Житловий будинок	Багатоповерховий житловий будинок	NaN	NaN	1986	Шуп
4224	4225	м. Черкаси, вул. Байди Вишневецького, 2/п	м. Черкаси	Черкаська	Житловий будинок	Будівництво багатоповерхового житлового будин...	NaN	NaN	Нове будівництво. Проект	Ко

4225 rows × 24 columns

Рисунок 1 - Вигляд основних даних

Для забезпечення коректної роботи моделі було проведено кодування категоріальних змінних. Функціональне призначення будівель закодовано методом one-hot encoding, а класи енергетичної ефективності переведено в числовий формат від 0 до 6, де 0 відповідає класу A, а 6 - класу G. Структуру нормалізованих даних представлено на рис. 2.

	class	volume	floors	energy	function_Готель	function_Громадська будівля	function_Дитячий дошкільний заклад	function_Житловий будинок	function_Заклад охорони здоров'я	function_Навчальний заклад	fu
0	4	8037.0	5	120.0	0	0	0	1	0	0	
1	6	12443.0	5	254.0	0	0	0	1	0	0	
2	4	21593.0	8	92.0	0	1	0	0	0	0	
3	6	4350.7	3	118.44	0	1	0	0	0	0	
4	6	2337.57	2	202.8	0	1	0	0	0	0	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
4220	6	9158.35	10	272.4	0	0	0	1	0	0	
4221	6	28252.22	16	240.3	0	0	0	1	0	0	
4222	6	14877.79	10	239.2	0	0	0	1	0	0	
4223	6	13407.86	9	222.9	0	0	0	1	0	0	
4224	2	7170.0	8	84.14	0	0	0	1	0	0	

Рисунок 2 – Нормалізовані дані

При розробці моделі класифікації особлива увага приділялася вибору оптимальних параметрів та критеріїв оцінки. Набір даних було розділено на навчальну (70%) та тестову (30%) вибірки з використанням стратифікації для збереження пропорцій класів. Для оцінки ефективності моделі використовувалася метрика точності (accuracy).

Результати тестування моделі показали високу ефективність: досягнуто точність 95.30% при використанні критерію Джині та 95.04% при використанні критерію ентропії. Порівняння точності моделей представлено на рис. 3, а детальний аналіз результатів класифікації для моделі з критерієм Джині показано на рис. 4.

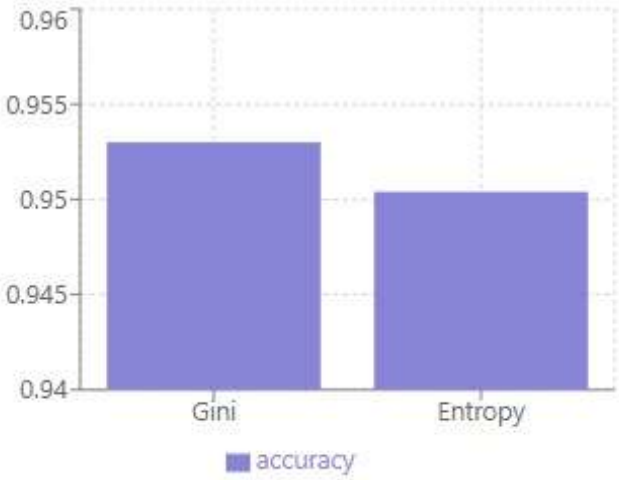

Рисунок 3 - Порівняння точності моделей

Ця кругова діаграма візуалізує співвідношення правильних та неправильних прогнозів для моделі з критерієм Джині. Зелений сектор представляє правильні прогнози (1096), а оранжевий - неправильні (54). Ця візуалізація яскраво демонструє високу ефективність нашої моделі, де правильні прогнози значно переважають неправильні.

Рисунок 4 - Результати класифікації (модель Gini)

Висока точність класифікації досягнута завдяки ретельній попередній обробці даних та вибору інформативних характеристик будівель. Важливо відзначити, що модель зберігає інтерпретованість результатів, що є критичним фактором для практичного застосування в сфері енергетичного менеджменту.

У результаті проведеного дослідження розроблено та протестовано модель класифікації енергоефективності будівель на основі даних енергетичних сертифікатів. Створена модель демонструє високу точність класифікації - понад 95% на тестовій вибірці, що підтверджує ефективність обраного підходу до вирішення задачі. Використання таких характеристик будівель як об'єм, кількість поверхів, питоме енергоспоживання та функціональне призначення виявилося достатнім для точної класифікації, що підтверджує інформативність обраних параметрів.

Порівняння різних критеріїв оцінки показало стабільність результатів - різниця в точності між моделями склала лише 0.26%, що свідчить про надійність розробленого підходу. Важливим аспектом є також збереження інтерпретованості результатів, що робить модель придатною для практичного застосування в сфері енергетичного менеджменту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості автоматизації процесу енергетичної сертифікації будівель, що може значно скоротити час та ресурси, необхідні для оцінки енергоефективності. Модель може бути використана як інструмент підтримки прийняття рішень при плануванні заходів з підвищення енергоефективності будівель.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення набору вхідних параметрів моделі, включення додаткових характеристик будівель та адаптацію моделі до різних кліматичних зон України. Перспективним напрямком є також інтеграція розробленої моделі з системами "розумних" будівель для реалізації автоматизованого моніторингу енергоефективності в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Pérez-Lombard L., Ortiz J., Pout C. A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings. 2008. Vol. 40, № 3. P. 394-398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007

2. Zhao H. X., Magoulès F. A review on the prediction of building energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, № 6. P. 3586-3592. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049

3. Pacheco R., Ordóñez J., Martínez G. Energy efficient design of building: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, № 6. P. 3559-3573. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045