

УДК 65.012.8

ЕКОНОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ НА РІВЕНЬ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

ДЖЕДЖУЛА В'ячеслав¹, ШЕВЧУК Дмитро²

¹ Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2740-0771>

e-mail: djedjula@vntu.edu.ua

² Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0001-8893-7679>

e-mail: shevchukdmt@gmail.com

У статті систематизовано і обгрунтовано фактори впливу на процес енергоспоживання медичних підприємств. До таких факторів належать: споживання електричної енергії, теплової енергії, газу, води, якість теплоізоляції будівлі і мереж, рівень енергоефективної підготовки персоналу, енергоефективність медичного обладнання, вік будівлі, частка використання енергоефективного управління будівлею і мережами, рівень використання відновлювальних джерел енергії.

Запропоновано економетричну модель прогнозування рівня споживання енергоносіїв підприємством, для конкретного підприємства промодельовано процес споживання енергії, визначено найбільш впливові фактори, здійснено оцінку адекватності моделі.

Ключові слова: модель, енергозбереження, медичні підприємства, управління.

<https://doi.org/10.31891/mdes/2025-17-15>

Стаття надійшла до редакції / Received 03.07.2025

Прийнята до друку / Accepted 18.08.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Енергоспоживання медичних підприємств визначається сукупністю технічних, організаційних та ресурсних факторів. Для оцінки впливу цих факторів застосовують економетричне моделювання, що дозволяє кількісно оцінити внесок кожного чинника в інтегральний показник енергоспоживання. Але для оцінки впливу кожного фактору на стан енергоспоживання підприємства виникає необхідність у розробці математичної моделі, яка би прогнозувала енергоспоживання і враховувала специфіку функціонування та енергоспоживання медичних підприємств. Метою розробки математичної моделі є прогнозування енергоспоживання та визначення ключових факторів для оптимізації витрат енергоносіїв

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед дослідників, які досліджують питання енергозбереження підприємств та моделювання процесів енергоспоживання підприємствами, можна виділити наступних: Xu, F., Shao, T., Hu, R., Zhang, M. [1], Wang, P., Liang, S. [2], Strielkowski, W., Gorina, L., Korneeva, E., Kovaleva, O. [3], Özsoy, T. [4], Anajemba, J. H., Yue, T., Iwendu, C., Alenezi, M., and Mittal, M. [5] та інші.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Незважаючи на значну кількість досліджень з питань, пов'язаних з дослідженням управління енергозбереженням підприємств, потребує подальших досліджень питання, пов'язані із формуванням економетричної моделі енергоспоживання підприємств охорони здоров'я та визначення пріоритетних напрямків оптимізації енергоспоживання.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є обгрунтування вибору факторів впливу і розробка економетричної моделі енергоспоживання підприємств охорони здоров'я. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розробити інтегральний показник енергоспоживання медичного підприємства;
2. Побудувати економетричну модель для оцінки впливу ключових факторів;
3. Візуалізувати результати та визначити пріоритетні напрямки оптимізації енергоспоживання.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Енергоспоживання медичних підприємств має низку особливостей і складає досить значну частку витрат для цих закладів. Досліджувати енергоспоживання з метою його оптимізації найкраще на основі даних реальних вимірювань і моніторингу, тому що розрахункові значення часто містять значні похибки. Зменшення енергоспоживання і оптимізація витрат є важливою задачею для менеджменту підприємства. Вирішення поставлених задач можливо при наявності певної вибірки статистичної інформації з енергоспоживання підприємства. З усього масиву даних необхідно обрати певну кількість найважливіших факторів. За результатами експертного опитування фахівців енергоаудиторів, головних інженерів медичних підприємств нами обрано наступні десять головних факторів впливу на інтегральний показник енергоспоживання:

X_1 - споживання електричної енергії; X_2 - споживання теплової енергії; X_3 - споживання води; X_4 - споживання газу; X_5 - рівень енергоефективності обладнання; X_6 - якість теплоізоляції; X_7 - рівень підготовки персоналу з енергоефективності; X_8 - вік будівлі і інженерних мереж; X_9 - рівень використання енергоефективного обладнання; рівень використання відновлювальних джерел енергії. Нехай ми маємо n спостережень (місяців) за m факторами, тоді ми можемо звести їх у матрицю наступного виду:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

де x_{ij} - значення j -го фактору, y_i - інтегральний показник енергоспоживання.

Так як ми маємо фактори, які можна оцінити кількісно і якісно, можемо знайти значення деяких експертно і деяких - шляхом вимірювань, для використання значень факторів, що мають різні одиниці вимірювання і діапазони вимірювань нам необхідно виконати нормалізацію методом міні-макс за наступною формулою:

$$x_{ij}^{norm} = \frac{x_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}, j = 1, \dots, 10 \quad (2)$$

Розподіл нормалізованих факторів для підприємства, що розглядається у роботі наведено на рисунку 1.

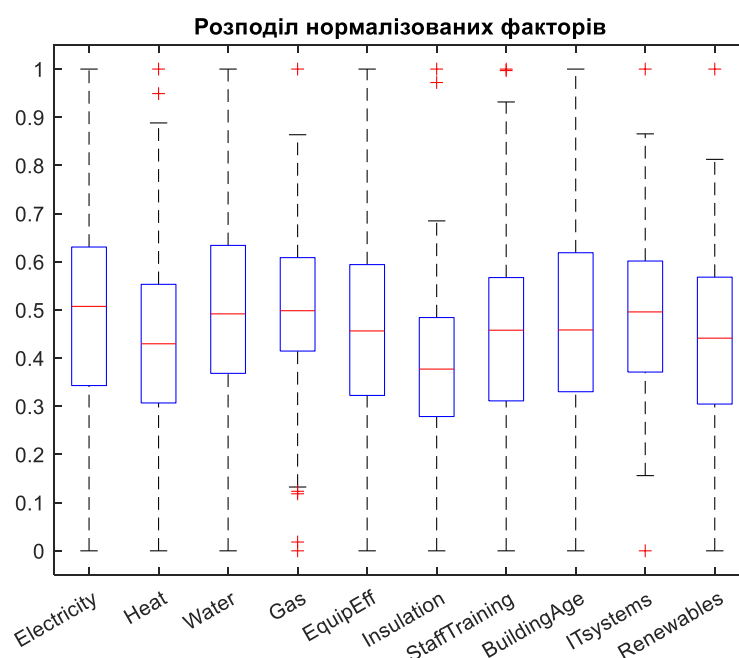


Рис. 1. Розподіл нормалізованих факторів

Інтегральний показник енергоспоживання пропонується визначати як суму зважених значень основних факторів:

$$y_j = w_1 \times x_{i1}^{norm} + w_2 \times x_{i12}^{norm} + w_3 \times x_{i3}^{norm} + w_4 \times x_{i4}^{norm} + w_5 \times (1 - x_{i5}^{norm}) \quad (3)$$

де w_k – коефіцієнти ваг факторів, причому сума вагових коефіцієнтів дорівнює 1, а $(1 - x_{i5}^{norm})$ використовується для інверсії ефективності обладнання (чим вища ефективність, тим менше енергоспоживання). Коефіцієнти ваг факторів визначено експертним шляхом, тоді для оцінки впливу факторів на індекс енергоспоживання пропонується множинна лінійна регресія:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \times x_{ij}^{norm} + \varepsilon_i \quad (4)$$

де β_0 – вільний член моделі, β_j – коефіцієнт регресії, що характеризує вплив j -го фактору; ε_i – випадкова похибка.

Коефіцієнти регресії визначаються методом найменших квадратів:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$

де X^T – транспонована матриця, X^{-1} – обернена матриця.

Оцінку адекватності моделі пропонується здійснювати шляхом розрахунку коефіцієнту детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

\hat{y}_i – прогнозоване значення, \bar{y} – середнє значення y .

Похибка регресійної моделі визначається за формулою:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (7)$$

Для підприємства, що розглядається у роботі розподіл похибок наведено на рисунку 2.

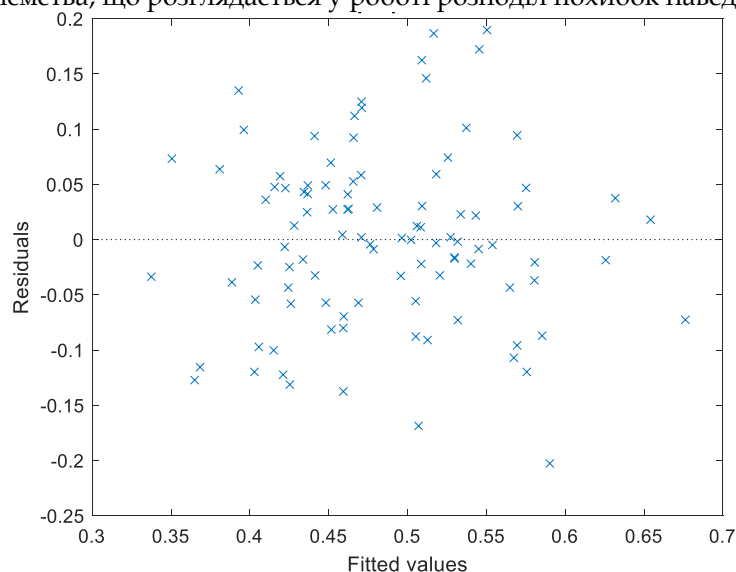


Рис. 2. Похибки регресійної моделі

Розглянемо медичне підприємство яке має масив даних за результатами енергомоніторингу, обчислень та експертних оцінок для десяти факторів за 100 місяців спостереження. Фрагмент матриці з нормалізованими факторами наведено у таблиці 1

Таблиця 1

Нормалізовані фактори впливу за перших 27 місяців спостереження

	Electricity	Heat	Water	Gas	EquipEff	Insulation	StaffTraining	BuildingAge	ITsystems	Renewables
1	0.4579	0.4713	0.5873	0.6188	0.6857	0.6950	0.1328	0.4719	0.3009	0.5779
2	0.4731	0.5778	0.3540	0.6916	0.4325	0.6741	0.4153	0.8668	0.1955	0.4874
3	0.4012	0.2696	0.8918	0.6660	0.3296	0.3994	0.3799	0	0.3049	0.4140
4	0.4140	0.4303	0.5881	0.4875	0.5144	0.4428	0.4727	0.4155	0.2624	0.2695
5	0.2962	0.5012	0.4434	0.4122	0.2844	0.6065	0.6576	1	0.5152	0.5881
6	0.5111	0.3171	0.6041	0.2966	0.3891	0.4902	0.5615	0.4125	0.1796	0.4963
7	0.2409	0.4391	0.4714	0.5121	0.3092	0.6828	0.7301	0.3945	0.2283	0.6204
8	0.2501	0.5256	0.7074	0.6471	0.4346	0.3372	0.2598	0.2596	0.4319	0.2740
9	0.5115	0.2516	0.4333	0.4384	0.6361	0.5568	0.2285	0.6685	0.6489	0.8160
10	0.6766	0.6115	0.2348	0.4653	0.5601	0.5221	0.4064	0.0808	0	0.6532
11	0.3206	0.6642	0.5249	0.5920	0.6391	0.7313	0.7480	0.3461	0.8070	0.2526
12	0.3002	0.5071	0.8037	0.6317	0.2335	0.2123	0.7296	0.6227	0.2156	0.7643
13	0.4570	0.4450	0.2188	0.2657	0.4492	0.4675	0.3992	0.5076	0.5526	0.4435
14	0.5711	0.2055	0.4212	0.5252	0.2199	0.4775	0.2904	0.6343	0.6413	0.6171
15	0.5532	0.5424	0.6857	0.5245	0.4896	0.0234	0.0769	0.5335	0.7018	0.6010
16	0.4333	0.1950	0.0654	0.4688	0.4779	0.7040	0.5836	0.6458	0.2953	0.3868
17	0.2780	0.7649	0.6053	0.6364	0.6692	1	0.4336	0.2473	0.4149	0
18	0.4951	0.5488	0.6323	0.4346	0.6304	0.4234	0.1562	0.5521	0.3737	0.6626
19	0.3733	0.4957	0.5179	0.3605	0.5425	0.5218	0.3510	0.1908	0.2758	0.4914
20	0.6234	0.3620	0.3093	0.5374	0.3142	0.3793	0.0056	0.6665	0.4696	0.4415
21	0.1451	0	0.4711	0.5669	0.3199	0.5403	0.5277	0.4451	0.4888	0.6399
22	0.4112	0.1991	0.4924	0.4582	0.0094	0.3954	0.3881	0.6406	0.3318	0.4236
23	0.6084	0.5161	0.6710	0.6208	0.3254	0.4481	0.8053	0.3991	0.4388	0.6891
24	0.3019	0.9318	0.6133	0.2494	0.1080	0.7742	0.1142	0.5745	1	0.5876
25	0.2796	0.5922	0.3983	0.3205	0.5970	0.3068	0.6526	0.7213	0.4079	0.3648
26	0.2266	0.5048	0.8161	0	0.5915	0.3582	0.4615	0.1071	0.5664	0.7214
27	0.3390	0.3319	0.4618	0.5768	0.4410	0.4530	0.4474	0.1299	0.3074	0.6507

Результати моделювання у програмі Matlab наведено на рисунках 3 і 4.

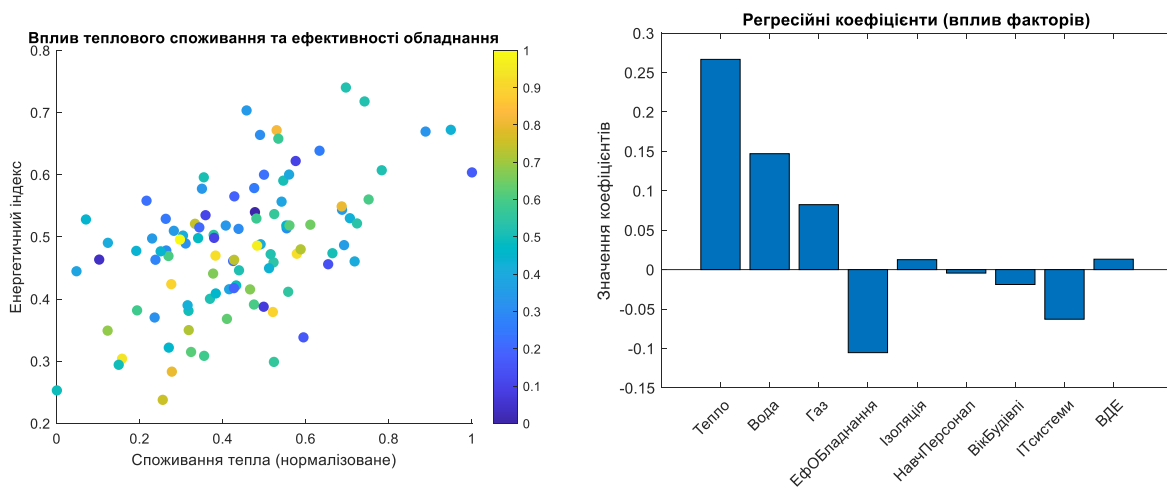


Рис. 3. Вплив теплового споживання та ефективності обладнання на енергоефективність, регресійні коефіцієнти (вплив факторів)

На рисунку 3 (ліва частина) наведено значення впливу теплового споживання підприємством і енергетичної ефективності обладнання (медичного, кліматичного та іншого) на енергетичний індекс. У правій частині наведено регресійні коефіцієнти, тобто вплив факторів на енергоспоживання підприємства. Найбільше енергії споживається тепловим обладнанням, водою (гарячою) і обладнанням, що працює на газу.

На рисунку 4 зображено графіки фактичного і прогнозованого енергетичного індексу підприємства і кореляційна матриця факторів.

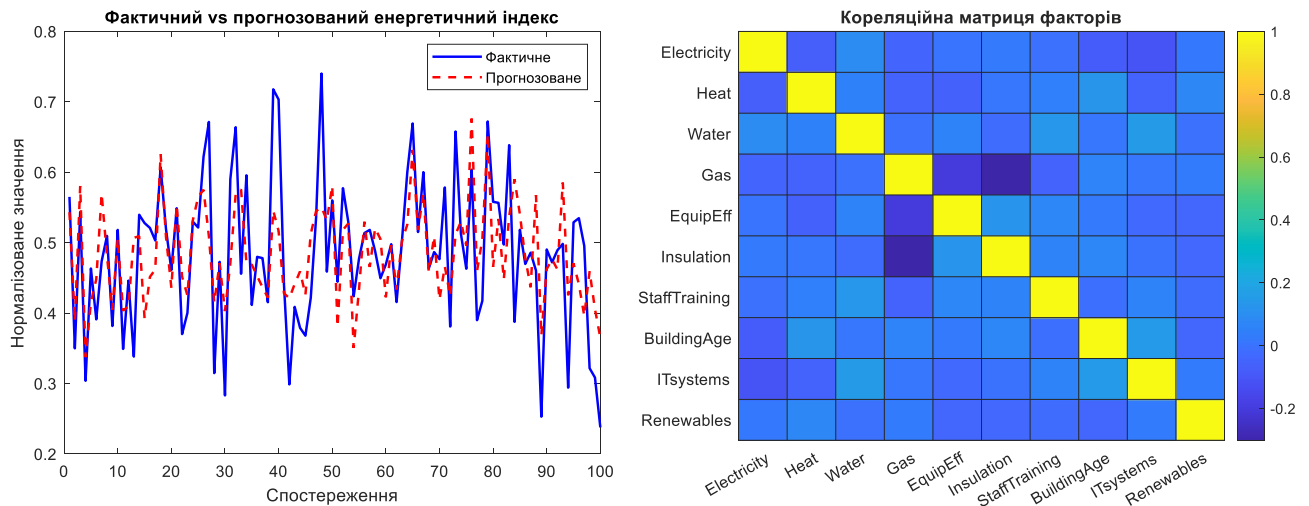


Рис 4. Графіки фактичного і прогнозованого енергетичного індексу підприємства і кореляційна матриця факторів

Як видно з рисунку 4 модель досить адекватно описує енергоспоживання підприємства, основні відхилення спостерігаються в місцях пікового споживання, що досить важко описати лінійними моделями. В цілому модель дає можливість прогнозувати енергоспоживання підприємства і розраховувати зміну споживання енергії при зміні значень окремих факторів – при їх оптимізації, або, навпаки, при погіршенні стану, тобто зниженню енергоефективності.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Економетрична модель, що базується на множинній регресії з нормалізованими факторами, дозволяє: кількісно оцінити вплив технічних та організаційних факторів на енергоспоживання, ідентифікувати ключові фактори для оптимізації енергоресурсів. Використовувати дану модель можна для прогнозування та прийняття управлінських рішень щодо енергоменеджменту медичних підприємств, але за наявності певної вибірки вихідних даних. Для більшої точності і адекватності прогнозування також можна використовувати моделі побудовані на інших принципах: наприклад нейронні мережі або нейронечіткі моделі прогнозування, але лінійні моделі при цьому є набагато простішими, не потребують значних ресурсів для їх реалізації і точність їх результатів достатня для прийняття управлінських рішень з енергозбереження.

ЛІТЕРАТУРА:

- Xu, F., Shao, T., Hu, R., Zhang, M. (2024). Research on Energy-Saving Efficiency and Influencing Factors of Green and Low-Carbon Enterprises Based on Three-Stage DEA and Tobit Models. *Sustainability*. DOI: 10.3390/su16177373.
- Wang, P., Liang, S., et al. (2022). Environmental Regulations and Energy Efficiency: The Mediating Role of Climate Change and Technological Innovation. *Frontiers in Environmental Science (Research Topic)*. DOI: 10.3389/fenvs.2022.909082.
- Strielkowski, W., Gorina, L., Korneeva, E., Kovaleva, O. (2023/2024). Energy-saving technologies and energy efficiency in the post-pandemic world. *Sustainable Development (Wiley)*. DOI: 10.1002/sd.2978.
- Özsoy, T. (2024). The “energy rebound effect” within the framework of environmental sustainability. *WIREs Energy and Environment*, 13(2), e517. <https://doi.org/10.1002/wene.517>
- Anajemba, J. H., Yue, T., Iwendi, C., Alenezi, M., and Mittal, M. (2020). Optimal cooperative offloading scheme for energy efficient multi-access Edge computation. *IEEE Access* 8, 53931–53941. doi:10.1109/access.2020.2980196
- Вашків, О. П., Смерека, С. Б. (2021). Енергозбереження як важливий чинник забезпечення конкурентоспроможності продукції. *Проблеми економіки (Problems of Economy)*. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2021-2-120-125>.
- Кліменко, О. М. (2025). Стабілізаційні підходи до управління підприємницькими структурами енергетичного ринку європейських країн. *Ефективна економіка (2025)*. DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.3.33>.

8. Єпіфанова І., Джеджула В. Сучасні технології управління економічною безпекою підприємств в умовах невизначеності. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2025. №338(1). С. 574-577. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-84>
9. Chiaroni, D., Chiesa, M., Chiesa, V., Franzò, S., Frattini, F., and Toletti, G. (2016). Introducing a new perspective for the economic evaluation of industrial energy efficiency technologies: An empirical analysis in Italy. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 15, 1–10. doi:10.1016/j.seta.2016.02.004
10. Васюткіна Н., Ватащук В. Фактори впливу на формування системи економічної безпеки підприємства в умовах динамічності конкурентного середовища. Економіка та суспільство. 2024. № 68. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-39>.

REFERENCES:

- Xu, F., Shao, T., Hu, R., Zhang, M. (2024). Research on Energy-Saving Efficiency and Influencing Factors of Green and Low-Carbon Enterprises Based on Three-Stage DEA and Tobit Models. *Sustainability*. DOI: 10.3390/su16177373.
- Wang, P., Liang, S., et al. (2022). Environmental Regulations and Energy Efficiency: The Mediating Role of Climate Change and Technological Innovation. *Frontiers in Environmental Science (Research Topic)*. DOI: 10.3389/fenvs.2022.909082.
- Strielkowski, W., Gorina, L., Korneeva, E., Kovaleva, O. (2023/2024). Energy-saving technologies and energy efficiency in the post-pandemic world. *Sustainable Development (Wiley)*. DOI: 10.1002/sd.2978.
- Özsoy, T. (2024). The “energy rebound effect” within the framework of environmental sustainability. *WIREs Energy and Environment*, 13(2), e517. <https://doi.org/10.1002/wene.517>
- Anajemba, J. H., Yue, T., Iwendi, C., Alenezi, M., and Mittal, M. (2020). Optimal cooperative offloading scheme for energy efficient multi-access Edge computation. *IEEE Access* 8, 53931–53941. doi:10.1109/access.2020.2980196
- Vashkiv, O. P., Smereka, S. B. (2021). Enerhozberezhennia yak vazhlyvyi chynnyk zabezpechennia konkurentospromozhnosti produktii. *Problemy ekonomiky (Problems of Economy)*. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2021-2-120-125>.
- Klimenko, O. M. (2025). Stabilizatsiini pidkhody do upravlinnia pidpriemnytskymy strukturamy enerhetychnoho rynku yevropeyskykh krain. *Efektivna ekonomika* (2025). DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.3.33>.
- Yepifanova I., Dzhedzhula V. Suchasni tekhnolohii upravlinnia ekonomichnoiu bezpekoiu pidpriemstv v umovakh nevyznachenosti. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky*. 2025. №338(1). С. 574-577. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-84>
- Chiaroni, D., Chiesa, M., Chiesa, V., Franzò, S., Frattini, F., and Toletti, G. (2016). Introducing a new perspective for the economic evaluation of industrial energy efficiency technologies: An empirical analysis in Italy. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 15, 1–10. doi:10.1016/j.seta.2016.02.004
- Vasiutkina N., Vatashchuk V. Faktory vplyvu na formuvannia systemy ekonomichnoi bezpeky pidpriemstva v umovakh dynamichnosti konkurentnoho seredovishcha. *Ekonomika ta suspilstvo*. 2024. № 68. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-39>.

ECONOMETRIC MODEL OF THE IMPACT OF MANAGERIAL DECISIONS ON THE LEVEL OF ENERGY CONSUMPTION

DZHEDZHULA Viacheslav, SHEVCHUK Dmytro
Vinnytsia National Technical University

The study addresses the critical issue of energy consumption in medical enterprises by developing an econometric model that quantifies the influence of managerial decisions and technical factors on overall energy use. Energy consumption in healthcare institutions is shaped by a complex interaction of organizational, technological, and resource-related determinants, including electricity, heat, gas, and water consumption; the efficiency of medical equipment; the quality of thermal insulation of buildings and networks; the level of personnel training in energy efficiency; the age of facilities; and the use of renewable energy sources. Based on expert surveys, ten core factors were identified as the most significant drivers of energy consumption. These factors were normalized and incorporated into a multiple regression model constructed with real monitoring data over a 100-month observation period. The model integrates quantitative and qualitative indicators, ensuring comparability across heterogeneous variables through min-max normalization. Regression coefficients were estimated using the least squares method, and model adequacy was validated by calculating determination coefficients and analyzing residual distributions. The findings reveal that heat consumption, water use, and the efficiency of medical and climatic equipment exert the strongest impact on energy demand. The constructed model demonstrates high reliability in forecasting energy consumption, with deviations mainly occurring under peak-load conditions, which are challenging to capture using linear approaches. Nevertheless, the model provides practical value for decision-making in energy management by allowing managers to estimate the effects of optimizing specific factors or assess potential risks of energy inefficiency. The research highlights the importance of integrating statistical modeling into healthcare energy management to improve resource allocation and reduce operational costs. Furthermore, the study outlines perspectives for applying advanced modeling approaches such as neural networks and neuro-fuzzy methods, which may enhance forecasting accuracy but require greater computational resources. The proposed model thus serves as a practical and resource-efficient tool for guiding managerial strategies aimed at energy saving and sustainable operation of medical enterprises.

Keywords: model, energy saving, medical enterprises, management