

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-20>

УДК 631.3:620.9

О. С. Ковязін, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3027-872X

І. О. Чижиков, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3022-4828

О. О. Дереза, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2652-9853

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

Анотація. У статті проаналізовано шляхи підвищення енергоефективності у виробництві продукції тваринництва. Основну увагу приділено зниженню енергетичних витрат як важливому чиннику оптимізації собівартості та підвищення рентабельності. Визначено, що ключову роль відіграють удосконалення мікроклімату, використання енергоощадних технологій, автоматизація виробничих процесів та оптимізація кормової бази. Застосування теплоізоляційних матеріалів, альтернативних джерел енергії та систем контролю енергоспоживання сприяє ефективному використанню ресурсів. Упровадження сучасних технологій дає змогу зменшити операційні витрати, підвищити продуктивність та забезпечити фінансову стабільність підприємств.

Ключові слова: тваринництво, автоматизація, мікроклімат, вентиляція, терморегуляція, енергоспоживання, відновлювані джерела, собівартість.

Постановка проблеми. Агропромислове виробництво є невід'ємним складником національної та глобальної економіки як у розвинених країнах, так і в тих, що розвиваються, відіграючи ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки [1], соціально-економічному розвитку сільських територій [2] та підтриманні макроекономічної стабільності [3].

Тваринництво – одна з найважливіших галузей агропромислового виробництва, рівень розвитку якої значною мірою визначає продовольчу безпеку держави, якість харчування населення та його здоров'я [4; 5]. Відповідно до даних Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), частка тваринництва у глобальному валовому випуску сільськогосподарської продукції становить близько 40% [6]. Окрім того, понад мільярд осіб у світі залежать від цього сектору як від основного джерела економічної діяльності та засобу існування [7].

Тому дослідження ефективних шляхів підвищення енергоефективності у тваринництві є важливим науковим і практичним завданням, що сприятиме покращенню економічної стабільності галузі, підвищенню конкурентоспроможності підприємств і забезпеченню сталого розвитку агропромислового комплексу.

Аналіз останніх досліджень. Останні наукові роботи присвячені пошуку шляхів підвищення енергоефективності у тваринництві як одного з ключових чинників зниження собівартості виробництва. Дослідження [8; 9] аналізують основні складники витрат у собівартості продукції тваринництва.

Одним із напрямів оптимізації є вдосконалення кормової бази. Дослідження [10] доводять, що використання ферментних добавок та контрольованих систем годування сприяє ефективнішому засвоєнню кормів, знижуючи їх перевитрати.

Інший ключовий аспект – підвищення енергоефективності через упровадження сучасних технологій. Дослідження [11] підтверджують ефективність використання альтернативних джерел енергії (біогазові установки, сонячні панелі, геотермальна енергія).

Значна увага приділяється автоматизації виробничих процесів, зокрема використанню роботизованого доїння, автоматизованих систем годування та утилізації відходів [12].

Окремі дослідження [13–17] показують, що до 90% загального енергоспоживання у тваринницьких господарствах припадає на підтримку мікроклімату (терморегуляцію повітря та вентиляцію).

Таким чином, останні дослідження підтверджують, що комплексний підхід до підвищення енергоефективності у виробництві продукції тваринництва, зокрема через модернізацію енергоспоживання, оптимізацію кормової бази та автоматизацію процесів, є ключовим чинником зниження собівартості та підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Формулювання мети статті. Метою статті є аналіз шляхів підвищення енергоефективності у виробництві продукції тваринництва та розроблення рекомендацій щодо оптимізації витрат через упровадження сучасних технологій.

Основна частина. У роботах [8; 9] досліджуються числові значення основних складників структури витрат у собівартості продукції тваринництва (рис. 1).

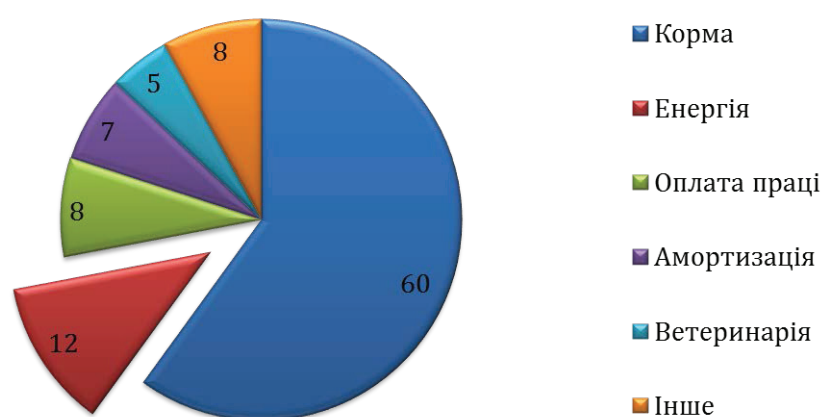


Рис. 1. Структура витрат у собівартості продукції тваринництва

Очевидно, що співвідношення наведених на рис. 1 параметрів варіюватиметься залежно від спеціалізації підприємств, рівня технологічної автоматизації, масштабів виробництва та застосовуваних стратегій ресурсозбереження. Наприклад, у молочному тваринництві частка витрат на корми та ветеринарне обслуговування зазвичай є вищою порівняно з відгодівельними господарствами, де ключову роль відіграють енерговитрати та логістика. Водночас у сучасних інтенсивних виробничих системах інвестиції у підвищення енергоефективності та оптимізацію трудових ресурсів можуть істотно впливати на кінцеву собівартість продукції, сприяючи зменшенню залежності підприємства від коливань цін на зовнішні чинники виробництва.

Ефективне управління виробничими витратами є ключовим чинником підвищення рентабельності та конкурентоспроможності підприємства. Комплексний підхід до зниження собівартості передбачає оптимізацію основних складників затратної структури, зокрема кормової бази, енергоспоживання, трудових ресурсів, ветеринарного обслуговування, амортизаційних витрат, логістики та управління відходами.

Оптимізація кормової бази є ключовим чинником зниження витрат у тваринництві. Вирощування частини кормів на власних угіддях дає змогу зменшити залежність від ринкових коливань цін. Використання ферментних добавок і коригування раціонів сприяє кращому засвоєнню кормів, що підвищує ефективність їх використання [10]. Контрольовані системи годування допомагають мінімізувати втрати під час зберігання та роздачі кормів, що знижує загальні витрати господарства.



Зменшення енергетичних витрат є вагомим чинником зниження собівартості, особливо у виробничих системах із високим рівнем автоматизації. Для цього необхідно переходити на енергоефективні технології, зокрема LED-освітлення та енергоощадне обладнання. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема біогазових установок, сонячних панелей та геотермальної енергії, дає змогу суттєво зменшити залежність від традиційних енергоресурсів [11]. Додатково важливим кроком є впровадження автоматизованих систем контролю енергоспоживання, що підвищує ефективність виробництва та зменшує непотрібні витрати.

Оптимізація трудових ресурсів включає впровадження автоматизованих систем управління процесами, таких як роботизоване доїння, автоматизоване годування та утилізація відходів, що сприяє зменшенню ручної праці та підвищенню ефективності [12]. Раціональне планування робочого часу та оптимізація операційних процесів дають змогу підвищити продуктивність праці, мінімізувати простой та забезпечити більш ефективний розподіл ресурсів.

Контроль витрат на **ветеринарне обслуговування** передбачає зменшення потреби у медикаментах завдяки профілактичним заходам і вдосконаленню методів діагностики. Важливу роль відіграє використання стійких до захворювань порід, а також підвищення рівня біобезпеки господарств, що сприяє зниженню ризику інфекцій та скороченню витрат на лікування [18].

Оптимізація **амортизаційних витрат** і ефективне управління обладнанням передбачає регулярне технічне обслуговування та застосування енергоефективного устаткування. Впровадження модульних технологій сприяє зниженню капітальних витрат під час розширення виробництва, що дає змогу гнучко адаптуватися до змін ринкового попиту [19].

Логістика та управління відходами реалізуються через оптимізацію маршрутів доставки кормів і готової продукції, що допомагає знизити транспортні витрати. Додатково впроваджується використання біогазових установок для ефективної утилізації відходів, що дає змогу отримувати вторинну енергію та екологічно чисті добрива [20].

Таким чином, системний підхід до зниження собівартості виробництва, що включає оптимізацію кормової бази, підвищення енергоефективності, автоматизацію виробничих процесів, ефективне управління трудовими ресурсами та ветеринарним обслуговуванням, є необхідною умовою забезпечення стійкості та конкурентоспроможності підприємств у сучасних економічних умовах. Впровадження інноваційних технологій дає змогу мінімізувати виробничі витрати, покращити продуктивність та адаптувати господарства до змін ринкового середовища.

Енергетичні витрати, незважаючи на відносно невелику частку в загальній структурі собівартості (12%), мають значний потенціал до оптимізації, що може забезпечити суттєве зниження загальних виробничих витрат. На відміну від кормів, частка яких становить 60%, енергоспоживання може бути більш ефективно скорочене завдяки впровадженню сучасних енергоефективних технологій. Це дає змогу не лише знизити витрати на електроенергію та паливо, а й підвищити фінансову стабільність підприємства, зменшуючи його залежність від коливань цін на енергоресурси та підвищуючи прогнозованість витрат.

Важливим аспектом є взаємозв'язок між енергетичною ефективністю та раціональним використанням кормової бази. Оптимізація систем вентиляції та мікроклімату в тваринницьких комплексах сприяє підтриманню стабільних умов утримання, що, своєю чергою, знижує стресові чинники для тварин і непродуктивні втрати кормів. Автоматизовані системи контролю мікроклімату дають змогу зменшити витрати енергії на обігрів або охолодження приміщень, одночасно підвищуючи ефективність годівлі. Таким чином, заходи з підвищення енергоефективності не лише безпосередньо скорочують витрати на енергоресурси, а й опосередковано впливають на зменшення витрат на корми, що є критично важливим для загального зниження собівартості виробництва.

Окреме значення має відповідність екологічним стандартам та регуляторним вимогам, що дедалі більше впливають на функціонування підприємств. Скорочення енергоспоживання безпосередньо зменшує викиди CO₂, що не лише покращує екологічний імідж господарства, а й відкриває доступ до фінансових стимулів, таких як державні гранти, програми підтримки енергоощадних технологій та податкові пільги. У цьому контексті дослідження оптимальних методів упровадження енергоефективних рішень у виробничі процеси набуває стратегічного значення для підвищення конкурентоспроможності підприємств у довгостроковій перспективі.

Забезпечення оптимального мікроклімату у тваринницьких приміщеннях є одним з основних складників енерговитрат у сільськогосподарському виробництві [19]. Залежно від типу будівель, технологій утримання тварин і системи вентиляції витрати енергії на підтримку мікроклімату можуть становити від 40% до 90% загального споживання енергії [13; 14]. Зокрема, у свинарниках цей показник варіюється в межах 50–70% [15], у молочних фермах – 30–40% [16], а в птахівничих господарствах він може досягати 60–90% [17].

На основі аналізу даних, наведених у зазначених дослідженнях, та усереднення числових значень складників енерговитрат отримано структуру витрат енергії під час виробництва продукції тваринництва (рис. 2).

Як показано на рис. 2, зосередження уваги на зменшенні енергетичних витрат, пов'язаних із терморегуляцією повітря та вентиляцією у тваринницьких приміщеннях, є найбільш ефективною стратегією скорочення загального енергоспоживання. Це пояснюється тим, що зазначені параметри мають найбільшу питому вагу та разом становлять 73% від загального обсягу енергетичних витрат.

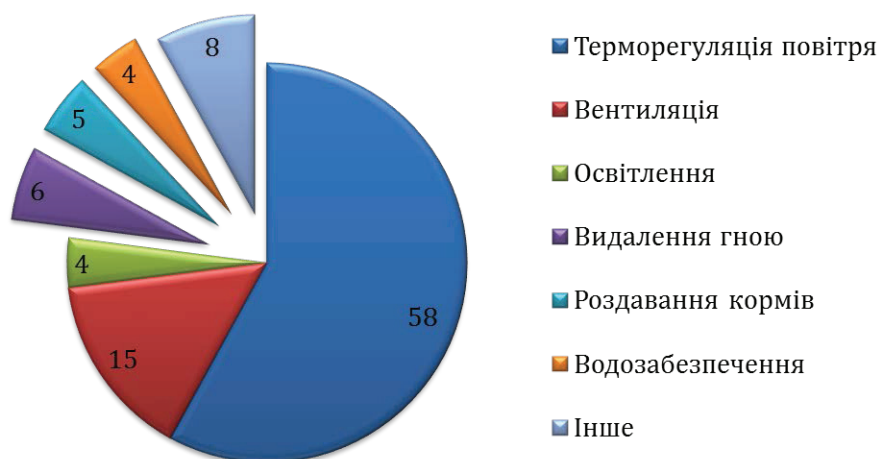


Рис. 2. Структура витрат енергії під час виробництва продукції тваринництва

Для мінімізації енергетичних витрат на терморегуляцію повітря доцільно застосовувати сучасні теплоізоляційні матеріали для підвищення енергоефективності будівель [21], використовувати локальний обігрів інфрачервоними панелями [22], а також інтегрувати альтернативні джерела енергії [23].

Оптимізація вентиляційних процесів можлива завдяки застосуванню автоматизованих систем управління повітрообміном [24]. Додатково, упровадження технологій рекуперації тепла сприяє поверненню частини енергетичних ресурсів у внутрішнє середовище, що знижує потребу в додатковому тепlopостачанні [25].

Оскільки терморегуляція повітря становить 58% від загального обсягу енергетичних витрат, її оптимізація є ключовим напрямом підвищення енергоефективності. Удосконалення системи терморегуляції сприятиме значному зниженню загального енергоспоживання, оптимізації

витрат на утримання тваринницьких приміщень та підвищенню продуктивності тварин. Зосередження уваги на цьому аспекті є стратегічно обґрунтованим рішенням, оскільки саме він має найбільший потенціал для досягнення максимального енергозбереження.

Висновки. Енергетичні витрати хоча й становлять лише 12% собівартості, мають значний потенціал для оптимізації, що сприяє зниженню загальних виробничих витрат. Покращення систем вентиляції та мікроклімату не лише скорочує споживання енергоресурсів, а й створює стабільні умови утримання тварин, знижуючи стресові чинники та втрати кормів. Це комплексно впливає на зменшення собівартості виробництва та підвищення його ефективності.

Зменшення енергетичних витрат на вентиляцію та терморегуляцію повітря є найефективнішою стратегією скорочення загального енергоспоживання, оскільки ці процеси разом становлять 73% від його загального обсягу. Зокрема, терморегуляція становить 58%, що робить її оптимізацію пріоритетним напрямом підвищення енергоефективності. Удосконалення системи терморегуляції сприятиме суттєвому зниженню витрат на утримання тваринницьких приміщень, покращенню мікроклімату та підвищенню продуктивності тварин, забезпечуючи максимальне енергозбереження.

Список використаних джерел

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (n.d.). Food safety. URL: <https://www.fao.org/food-safety/en/>
2. Herrero, M., Grace, D., Njuki, J., Johnson, N., Enahoro, D., Silvestri, S., & Rufino, M.C. (2013). The roles of livestock in developing countries. *Animal*, 7(s1), 3–18. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001954>
3. Pica-Ciamarra, U. (2005). Livestock policies for poverty alleviation: Theory and practical evidence from Africa, Asia and Latin America. Pro-Poor Livestock Policy Initiative (PPLPI) Working Paper No. 27. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Retrieved from <http://www.fao.org/ag/pplpi.html>
4. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення державного регулювання продовольчої безпеки та розвитку тваринництва» від 30 червня 2023 р. № 3221-IX. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2023. № 83. Ст. 302. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3221-20>
5. Братішко В.В. (2017). Науково-технічні основи приготування комбікормів гвинтовими грануляторами. Тернопіль : Видавництво «Крок». ISBN 978-617-692-444-9. URL: <https://www.researchgate.net/publication/337250244>
6. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). Livestock: Engine for economic growth and sustainability. Retrieved from <https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/insights/news-insights/news-detail/livestock-engine-for-economic-growth-and-sustainability/en>
7. World Bank. (2023). Moving towards sustainability: The livestock sector and the World Bank. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/moving-towards-sustainability-the-livestock-sector-and-the-world-bank>
8. Hoste, R., & Benus, M. (2023). International comparison of pig production costs 2022: Results of InterPIG. Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/643744>
9. Koutouzidou, G., Ragkos, A., & Melfou, K. (2022). Evolution of the structure and economic management of the dairy cow sector. *Sustainability*, 14(18), 11602. <https://doi.org/10.3390/su141811602>
10. Bratishko, V., Milko, D., Achkevych, O., & Kuzmenko, V. (2020). Results of experimental studies of process of preparation of feed mixtures with their moistening. Proceedings of the 19th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development», Jelgava, Latvia, May 20–22, 2020. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF349>
11. Panwar, N.L., Kaushik, S.C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 1513–1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
12. Bach, A., & Cabrera, V. (2017). Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. *Journal of Dairy Science*, 100(9), 7720–7728. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11694>



13. Kaletnik, G., Yaropud, V., & Babyn, I. (2024). Development of resource-saving technical and technological support for production and animal husbandry. Primedia eLaunch. ISBN: 979-8-89619-784-3. <https://doi.org/10.46299/979-8-89619-784-3>
14. Venkatesan, S., Lim, J., Ko, H., & Cho, Y. (2022). A machine learning-based model for energy usage peak prediction in smart farms. *Electronics*, 11(218). <https://doi.org/10.3390/electronics11020218>
15. Daurenbayeva, N., Nurlanuly, A., Atymtayeva, L., & Mendes, M. (2023). Survey of applications of machine learning for fault detection, diagnosis and prediction in microclimate control systems. *Energies*, 16(3508). <https://doi.org/10.3390/en16083508>
16. Mylostyvyi, R., Vysokos, M., Timoshenko, V., Muzyka, A., Vtoryi, V., Vtoryi, S., Chernenko, O., Izhboldina, O., Khmeleva, O., & Hoffmann, G. (2020). Features of the formation and monitoring of the microclimate in non-insulated barns: Unresolved issues. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 8(2), 73–85. <https://doi.org/10.32819/2020.82011>
17. Olejnik, K., Popiela, E., & Opaliński, S. (2022). Emerging precision management methods in poultry sector. *Agriculture*, 12(718). <https://doi.org/10.3390/agriculture12050718>
18. Guy, S.Z.Y., Thomson, P.C., & Hermes, S. (2012). Selection of pigs for improved coping with health and environmental challenges: Breeding for resistance or tolerance? *Frontiers in Genetics*, 3, 281. <https://doi.org/10.3389/fgene.2012.00281>
19. Komlatsky, V.I., Podoinitsyna, T.A., & Kozub, Y.A. (2020). Technological process intensification trends in livestock. *Journal of Physics: Conference Series*, 1515(2), 022009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/2/022009>
20. Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100(22), 5478–5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>
21. Paris, B., Vadorou, F., Tyris, D., Balafoutis, A.T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakis, D., & Papadakis, G. (2022). Energy use in the EU livestock sector: A review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption. *Applied Sciences*, 12(2142). <https://doi.org/10.3390/app12042142>
22. Spodyniuk, N., Zhelykh, V., & Dzeryn, O. (2018). Combined heating systems of premises for breeding of young pigs and poultry. *FME Transactions*, 46(4), 651–657. <https://doi.org/10.5937/fmet1804651S>
23. Michaelides, E.E. (2012). *Alternative energy sources*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20951-2>
24. Skliar, O., Grigorenko, S., & Boltianska, N. (2021). Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms. In *Theory, Practice and Science: Abstracts of V International Scientific and Practical Conference* (pp. 255–257). Tokyo, Japan: European Conference. Retrieved from <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/10/Theory-practice-and-science.pdf#page=256>
25. Trokhaniak, V., Nasieka, Y., Ihnatiev, Ye., Synyavskiy, O., Skliar, O., & Olt, J. (2024). Study of heat exchange processes in the cooling system of a poultry house with side ventilation. *Agronomy Research*, 22(2), 1016–1025. <https://doi.org/10.15159/AR.24.084>

Стаття надійшла до редакції 11.03.2025

O. Koviazin, I. Chyzykhov, O. Dereza

Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

WAYS TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY IN LIVESTOCK PRODUCTION

Summary

The article explores ways to improve energy efficiency in livestock production. Particular attention is given to reducing energy consumption as a key factor in optimizing production costs and increasing profitability. The study identifies that optimizing microclimate systems, implementing energy-saving technologies, automating production processes, and improving feed management are essential components of cost reduction. The analysis highlights that significant energy consumption is associated with ventilation and thermal regulation in livestock facilities. The application of thermal insulation materials, heat recovery technologies, and automated energy consumption control systems contributes to the efficient use of resources and the reduction of operational costs.



The research emphasizes that integrating renewable energy sources, such as biogas plants, solar panels, and geothermal energy, can significantly decrease dependency on traditional energy sources and enhance the economic stability of livestock enterprises. Furthermore, automation in feeding, milking, and waste management reduces labor costs and enhances productivity.

Improving energy efficiency not only lowers production costs but also increases the competitiveness of livestock enterprises. Sustainable energy management and technological advancements contribute to long-term financial stability, reducing the impact of market fluctuations on production costs. Additionally, ensuring compliance with environmental regulations through reduced carbon emissions and sustainable waste management practices provides economic and ecological benefits.

The article concludes that a systematic approach to energy efficiency improvement, incorporating modern energy-saving technologies, automation, and feed optimization, is crucial for reducing production costs and enhancing the sustainability of the livestock sector.

Keywords: livestock, automation, microclimate, ventilation, thermoregulation, energy consumption, renewable sources, cost price.