

Сиром'ятников Ю.М.,

Сиром'ятніков П.С.

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна

E-mail:

Gara176@btu.kharkov.ua

Ukridu@gmail.com

**ТРЕНДИ ТА ІННОВАЦІЇ В АГРАРНІЙ
МЕХАНІЗАЦІЇ: ПІДВИЩЕННЯ СТАЛОСТІ
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
У ТВАРИННИЦТВІ**

[https://doi. 10.5281/zenodo.15424182](https://doi.org/10.5281/zenodo.15424182)

УДК 631.3:636:620.9

Сиром'ятников Ю.М., Сиром'ятніков П.С. Тренди та інновації в аграрній механізації: підвищення сталості та енергоефективності у тваринництві.

Анотація. Розглянуто сучасні тенденції та виклики механізації тваринництва з акцентом на впровадження інноваційних технологій, енергоефективність та сталість розвитку. Проаналізовано використання автоматизованих систем, точного землеробства, відновлюваних джерел енергії, таких як біогазові установки, сонячні панелі та геотермальні системи. Особливу увагу приділено екологічним, економічним і соціальним аспектам сталого розвитку. Визначено перспективи інтеграції цифрових технологій, штучного інтелекту та розширення нових ринків, зокрема у виробництві органічних добрив і біоенергії. Результати дослідження демонструють, що впровадження комплексного підходу до механізації сприяє підвищенню продуктивності, зниженню витрат і мінімізації негативного впливу на довкілля, забезпечуючи довгострокову сталість галузі. **Ключові слова:** механізація тваринництва, інноваційні технології, енергоефективність, сталість, відновлювані джерела енергії, автоматизація, переробка відходів, точне землеробство, екологічна сталість, економічна сталість, цифрові технології.

Ключові слова: механізація тваринництва, інноваційні технології, енергоефективність, сталість, відновлювані джерела енергії, автоматизація, переробка відходів, точне землеробство, екологічна сталість, економічна сталість, цифрові технології.

Syromyatnikov Yu.M., Syromyatnikov P.S. Trends and innovations in agricultural mechanization: increasing sustainability and energy efficiency in livestock farming.

Abstract. Modern trends and challenges of livestock mechanization are considered with an emphasis on the introduction of innovative technologies, energy efficiency and sustainable development. The use of automated systems, precision agriculture, renewable energy sources, such as biogas plants, solar panels and geothermal systems, is analyzed. Particular attention is paid to environmental, economic and social aspects of sustainable development. The prospects for the integration of digital technologies, artificial intelligence and the expansion of new markets are identified, in particular in the production of organic fertilizers and bioenergy. The results of the study demonstrate that the implementation of an integrated approach to mechanization contributes to increasing productivity, reducing costs and minimizing the negative impact on the environment, ensuring the long-term sustainability of the industry. **Keywords:** livestock mechanization, innovative technologies, energy

efficiency, sustainability, renewable energy sources, automation, waste processing, precision agriculture, environmental sustainability, economic sustainability, digital technologies.

Key words: *livestock mechanization, innovative technologies, energy efficiency, sustainability, renewable energy sources, automation, waste processing, precision agriculture, environmental sustainability, economic sustainability, digital technologies.*

Syromyatnikov Yu.M., Syromyatnikov P.S. Theoretical analysis of seed movement in inter-deck space of vibro-friction separator.

Постановка проблеми

Механізація є невід'ємною частиною сучасного аграрного сектору, яка спрямована на підвищення продуктивності, ефективності та сталого розвитку виробничих процесів. У галузі тваринництва механізація забезпечує раціональне використання ресурсів, автоматизацію трудомістких процесів та впровадження інноваційних технологій. Сучасні виклики, зокрема зміна клімату, необхідність зменшення вуглецевого сліду, інтеграція відновлюваних джерел енергії та зростаюча конкуренція, вимагають нових підходів до організації технологічних процесів у тваринництві.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сталий розвиток тваринництва передбачає інтеграцію енерго- та ресурсозберігаючих технологій, таких як біомаса, сонячна та вітрова енергія. Наприклад, дослідження Kodirov et al. [1] показує, що впровадження біогазових установок для утилізації відходів тваринництва дозволяє зменшити викиди CO₂ та виробляти енергію для внутрішніх потреб.

Дослідження інноваційних підходів до інтеграції механізації та відновлюваних джерел енергії стало об'єктом багатьох наукових праць. Наприклад, Cui et al. [2] аналізують застосування відновлюваних енергетичних технологій у системах обігріву птахівництва, підкреслюючи важливість їхнього використання для зменшення залежності від викопних ресурсів. У свою чергу, Paul et al. [3] вивчають шляхи мінімізації агроекологічних компромісів через впровадження сталого інтенсифікованого тваринництва у дрібних господарствах Танзанії.

Ключову роль у розвитку сталого тваринництва відіграють біомасові енергетичні технології. Наприклад, Paris et al. [4] демонструють, як впровадження біомасових систем у молочному господарстві дозволяє підвищити енергоефективність та економічну стійкість виробництва. Аналогічно, Augustyn et al. [5] зазначають, що інтегровані системи обігріву і живлення можуть бути ефективно використані в умовах автономного енергозабезпечення.

Вплив механізації на зменшення вуглецевого сліду є актуальною темою. Наприклад, Romaniuk et al. [6] досліджують ефективність біомасових технологій у молочному господарстві та їхню роль у зниженні екологічного впливу. Wahyudi [7] аналізує потенціал біогазових установок для скорочення викидів парникових газів у фермерських господарствах. Дослідження Сeгаји́ć [8] підкреслює переваги когенераційних біогазових систем на фермах. У свою чергу, Reddy et al. [9] зосереджуються на економічній і екологічній оцінці багатогенераційних відновлюваних енергосистем для молочних ферм, демонструючи їхній значний потенціал. Подібно, Pochwatka et al. [10] аналізують енергетичні та економічні аспекти експлуатації біогазових станцій у середніх фермерських господарствах Польщі, Shalini et al. [11] в Індії, Radko [12] в Україні. Інтеграція відновлюваних джерел енергії має велике

значення для сталого розвитку. Наприклад, Salman et al. [13], Bagdadee et al. [14] розглядають гібридні енергосистеми на основі біогазу, сонячної енергії та кінетичної енергії. Дослідження Aisyah et al. [15] підкреслюють потенціал біогазу як відновлюваного джерела енергії для малих фермерських господарств у південних регіонах Індонезії. Liu et al. [16] досліджують вплив механізації на зменшення використання добрив, акцентуючи увагу на її енергетичних перевагах.

Дослідження Gousiya et al. [17] аналізують структуру використання енергії у механізованому виробництві рису в Індії. Подібним чином, Purba et al. [18] досліджують ефективність механізації в зрошуваних районах Індонезії. Інноваційні підходи у механізації сприяють підвищенню продуктивності та ефективності. Manwatkar et al. [19] розглядають сучасні тенденції механізації в аграрному секторі Індії. Miyamoto et al. [20] досліджують впровадження технологій для покращення аграрних процесів в Індонезії. Namdeo et al. [21] аналізують рівень механізації для виробництва сільськогосподарських культур у плато Бастар, Індія. Подібним чином, Rakhra et al. [22] оцінюють ефективність різних видів механізованих інструментів у фермерських господарствах. Chaudhari et al. [23] зосереджуються на статусі механізації для виробництва пшениці та рису в Уттар-Прадеш, Індія. Mallesh et al. [24] підкреслюють необхідність інновацій для підвищення продуктивності у цьому ж регіоні.

Ключовим напрямом досліджень є впровадження новітніх технологій у фермерських господарствах. Kandpal et al. [25] розглядають структуру володіння технікою в аграрному секторі Індії та аналізують її вплив на продуктивність. Yamamoto et al. [26] вивчають механізовані системи у фруктовому виробництві Японії.

Sudhakar et al. [27] досліджують селективну механізацію та шляхи підвищення продуктивності та рентабельності вирощування сафлору.

Sunil et al. [28] підкреслюють перспективи точного землеробства як інструменту майбутнього для фермерів Індії. Pitono [29] вивчає можливості точного фермерства для вирощування перцю в Індонезії. Ahmed et al. [30] аналізують вплив механізації на продуктивність фермерських господарств у субтропічних регіонах Джамму і Кашмір. Beluhova-Uzunova et al. [31] підкреслюють концепції точного фермерства як ключові перспективи сталого розвитку. Kusumandari et al. [32] досліджують можливості використання гною як джерела біогазу для відновлюваної енергетики. Stadnik et al. [33] розглядають незалежне енергопостачання для ферм на основі відновлюваних джерел енергії.

Nugraha et al. [34] аналізують концепцію розвитку біогазових систем як відновлюваного джерела енергії в сільських районах Індонезії. Indrawati et al. [35] досліджують інтегровані енергетичні технології для ферм у регіоні Тангеранг. Caetano et al. [36] демонструють можливості конверсії біогазу з тваринницького гною в електроенергію за допомогою двигунів Стірлінга. Hidayati et al. [37] оцінюють технічні та технологічні аспекти біогазової агропромисловості, заснованої на коров'ячому гною.

Wahyuni et al. [38] наголошують на важливості групового підходу до впровадження біогазових технологій у сільській місцевості. Aquilani et al. [39] аналізують точні технології у системах випасу худоби, підкреслюючи їхній потенціал для сталого розвитку. Maturo et al. [40] досліджують проектування енергетично незалежних спільнот у тваринництві, демонструючи приклад ферми в Північній Італії. Medvedev [41] аналізує енергозберігаючі технології для управління фермами з вирощування великої рогатої худоби.

Sklyar et al. [42] вивчають покращення енергетичних систем у птахофабриках. Araújo et al. [43] оцінюють техніко-економічну доцільність використання трубчастих біодигесторів і сонячної енергії в умовах сільського господарства. Costantino et al. [44]

пропонують методологію сертифікації енергетичної ефективності тваринницьких будівель, зокрема свинарників. Bartkowiak [45] розглядає концепцію енергозберігаючих і низьковуглецевих будівель для фермерських господарств.

Shablia et al. [46] аналізують ефективність ручних та механізованих технологій видалення гною. Moustakas et al. [47] підкреслюють сучасні виклики у впровадженні відновлюваних енергетичних систем. Sekaran et al. [48] досліджують інтегровані системи рослинництва та тваринництва як стратегію підвищення продуктивності та забезпечення продовольчої безпеки. Walston et al. [49] підкреслюють перспективи агроvoltaїчних систем для досягнення синергії між енергетичними та екологічними цілями.

Henchion et al. [50] аналізують майбутні тренди споживання м'яса, молока та яєць, наголошуючи на важливості тваринницьких систем у глобальному виробництві білків. Al-Shetwi [51] досліджує вплив стійкого розвитку відновлюваної енергетики на енергетичний сектор. Martin et al. [52] підкреслюють потенціал багатовидового тваринництва для підвищення сталості ферм. Al-Ghussain et al. [53] досліджують інтегровані системи, що базуються на сонячній, вітровій енергії та біомасі, для автономного енергозабезпечення.

Danda [54] аналізує вплив інновацій у сільськогосподарській техніці на підвищення ефективності фермерських господарств. Gorjian et al. [55] підкреслюють потенціал сучасної сільськогосподарської техніки, що працює на сонячній енергії, як рішення для сталих фермерських операцій. Jiang et al. [56] досліджують вплив популяризації механізації на енергетичну та екологічну продуктивність у сільському господарстві Китаю. Wu et al. [57] розглядають шляхи зниження енергоінтенсивності сільськогосподарських процесів шляхом структурних змін та підвищення ефективності.

Sharma et al. [58] вивчають роль технологічних революцій у впровадженні інтелектуального фермерства, підкреслюючи виклики та перспективи. Moerkerken et al. [59] аналізують чинники енергоефективності у молочному секторі Нідерландів, наголошуючи на дилемах стійкості. Nsabiyeze et al. [60] оцінюють глобальну ефективність політик зниження викидів вуглецю в сільському господарстві, підкреслюючи їхню актуальність у контексті зміни клімату. Vaintrub et al. [61] досліджують точні технології у тваринництві, наголошуючи на можливостях їхнього застосування у пасовищних системах.

Parra-López et al. [62] аналізують впровадження цифрових технологій у сільське господарство для адаптації до змін клімату. Rong et al. [63] вивчають механізми впливу зелених технологічних інновацій на інтенсивність викидів CO₂ у сільському господарстві. Corigliano et al. [64] проводять комплексне дослідження енергоспоживання у харчовій промисловості, підкреслюючи виклики та вплив на екологію. Ren et al. [65] аналізують роль інновацій і природних ресурсів у забезпеченні зеленого зростання сільського господарства.

SaberiKamarposhti et al. [66] оцінюють вплив штучного інтелекту на зменшення викидів парникових газів у сільському господарстві. Bragaglio et al. [67] порівнюють дві молочні ферми, демонструючи ефективність точного землеробства як стратегії підвищення сталості. He et al. [68] досліджують технології зеленого сільського господарства для підвищення низьковуглецевої ефективності в Китаї. Javaid et al. [69] підкреслюють роль технологій Agriculture 4.0 у розвитку розумного фермерства. Egas et al. [70] оцінюють енергоефективність малих систем виробництва молока, підкреслюючи їхню екологічну та економічну доцільність.

Ці дослідження підкреслюють, що інтеграція сучасних технологій та відновлюваних джерел енергії у тваринництво є ключем до вирішення викликів сучасного агропромислового сектору. Зокрема, механізація у поєднанні з

автоматизацією процесів сприяє підвищенню продуктивності, енергоефективності та екологічної сталості.

Аналіз наявних наукових даних підтверджує, що сталий розвиток галузі залежить від адаптації технологій до місцевих умов, раціонального використання ресурсів та впровадження низьковуглецевих рішень. Наприклад, використання біогазу, сонячної енергії, гібридних енергетичних систем та точного землеробства дозволяє значно зменшити вуглецевий слід фермерських господарств, оптимізуючи витрати і підвищуючи ефективність виробництва.

Метою подальших досліджень має стати створення стратегій для забезпечення сталого розвитку тваринництва шляхом інтеграції сучасних підходів до механізації, автоматизації та енергоефективності. Особлива увага повинна приділятися розробці локалізованих рішень, які відповідають потребам малих та середніх фермерських господарств у різних регіонах світу.

Застосування нових підходів дозволить досягти балансу між продуктивністю та екологічною відповідальністю, що є основою для сталого розвитку тваринництва у ХХІ столітті.

Формулювання мети досліджень

Метою даного дослідження є аналіз сучасних тенденцій, інноваційних підходів та технологій механізації у галузі тваринництва з акцентом на впровадження енергоефективних і сталих рішень. Особлива увага приділяється інтеграції відновлюваних джерел енергії, автоматизації виробничих процесів та їхньому впливу на продуктивність, зниження вуглецевого сліду і раціональне використання природних ресурсів.

Цілі дослідження включають:

1. Визначення ключових викликів і тенденцій розвитку механізації у тваринництві.
2. Огляд новітніх технологій, таких як біогазові установки, автоматизовані системи годування та точне землеробство.
3. Аналіз впливу впровадження механізації на енергоефективність та екологічну сталість.
4. Оцінка соціально-економічних наслідків автоматизації в умовах сільського господарства.

Результати досліджень

Сучасні виклики механізації тваринництва. Механізація тваринництва стикається з низкою викликів, обумовлених як технологічними, так і екологічними, соціально-економічними та організаційними аспектами. Вирішення цих проблем є ключовим для забезпечення сталого розвитку галузі.

Екологічні виклики. Однією з основних проблем є вплив тваринництва на довкілля. У процесі механізації, особливо у великих господарствах, виникає значний вуглецевий слід, пов'язаний із використанням викопного палива для роботи машин і обладнання. Дослідження показують, що впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як біогаз і сонячна енергія, дозволяє скоротити викиди вуглекислого газу [1, 4, 62].

Інша важлива екологічна проблема – управління відходами. Відходи тваринництва можуть спричиняти забруднення ґрунтів і водних ресурсів. Використання біогазових установок для переробки органічних відходів дозволяє не

лише мінімізувати їхній вплив на довкілля, але й отримувати додаткову енергію [24, 48, 56].

Енергоефективність. Енергозатратність є ще одним важливим викликом. У тваринництві витрачається значна кількість енергії на обігрів приміщень, забезпечення водопостачання, годування тварин тощо. Рішенням стає інтеграція сучасних енергоефективних технологій, таких як комбіновані системи тепла та електроенергії, сонячні панелі та геотермальні джерела [5, 42, 50].

Технологічні виклики. Сучасні технології вимагають значних капіталовкладень і кваліфікованого обслуговування. У невеликих господарствах це може стати бар'єром для впровадження інновацій. Наприклад, автоматизовані системи годування чи доїння, хоч і підвищують продуктивність, вимагають відповідних інвестицій [45, 46].

Соціально-економічні виклики. Механізація впливає на зайнятість у сільській місцевості. Хоча автоматизація створює нові можливості для працевлаштування у сфері обслуговування техніки, вона також скорочує кількість традиційних робочих місць у тваринництві [11, 63]. Це ставить перед суспільством завдання адаптації сільського населення до нових умов і підвищення рівня освіти.

Таблиця 1

Сучасні виклики механізації тваринництва

Категорія викликів	Опис	Можливі рішення	Джерела
Екологічні виклики	Викиди вуглекислого газу через використання викопного палива; забруднення ґрунтів і вод органічними відходами.	Впровадження відновлюваних джерел енергії (біогаз, сонячна енергія), утилізація відходів через біогазові установки.	[1, 4, 24, 48, 62]
Енергоефективність	Високі витрати енергії на обігрів приміщень, водопостачання, годування тварин.	Інтеграція енергоефективних систем (комбіновані тепло-електростанції, сонячні панелі, геотермальні джерела).	[5, 42, 50]
Технологічні виклики	Висока вартість сучасного обладнання; потреба у кваліфікованому персоналі для обслуговування техніки.	Інвестиції в навчання персоналу, адаптація доступних за ціною рішень для малих фермерських господарств.	[45, 46]
Соціально-економічні виклики	Скорочення традиційних робочих місць у тваринництві через автоматизацію; потреба в підвищенні кваліфікації працівників.	Перенавчання персоналу для роботи з новими технологіями; розвиток сервісних центрів з обслуговування обладнання.	[11, 63]
Організаційні виклики	Необхідність оптимізації логістичних процесів і впровадження ефективних стратегій управління новими технологіями.	Розробка стратегій впровадження інновацій; планування технічного обслуговування, підтримка малого бізнесу у впровадженні нових технологій.	[2, 7, 52]

Організаційні виклики. Впровадження новітніх технологій потребує розробки ефективних стратегій управління. Важливу роль відіграє оптимізація логістичних процесів, забезпечення технічного обслуговування та навчання персоналу для роботи з новими технологіями [2, 7, 52].

Перспективи вирішення викликів. Попри існуючі проблеми, сучасні дослідження демонструють шляхи їхнього вирішення. Впровадження точного землеробства, автоматизація процесів, використання локальних відновлюваних джерел енергії та відповідальне управління природними ресурсами можуть стати основою для сталого розвитку галузі [3, 27, 41]. Стратегічне планування та міжнародна співпраця сприятимуть подоланню перешкод і впровадженню інновацій.

Таким чином, вирішення сучасних викликів механізації тваринництва потребує комплексного підходу, що враховує екологічні, соціально-економічні та технологічні аспекти. Основні виклики, які виникають у процесі механізації тваринництва, а також можливі підходи до їх вирішення наведені в (табл. 1).

Пропорційний розподіл основних викликів механізації тваринництва представлено на діаграмі (рис.1). Найбільшу частку займають екологічні виклики, які становлять 30% від загального обсягу проблем.

Це зумовлено значними викидами парникових газів унаслідок використання викопного палива та проблемами управління органічними відходами, які забруднюють ґрунти і водні ресурси [1, 4, 24, 48, 62].

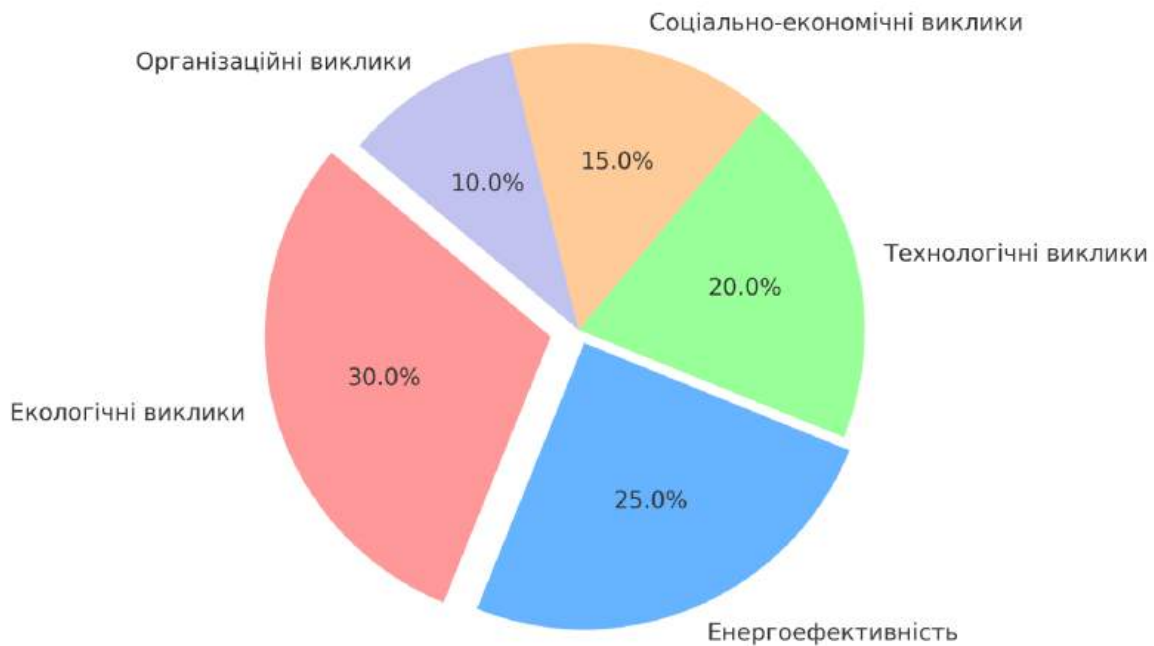


Рис. 1. Пропорційний розподіл основних викликів механізації тваринництва.

Другу позицію займають виклики енергоефективності, що складають 25%. Значні енергозатрати на обігрів приміщень, водопостачання та годування тварин вимагають впровадження сучасних енергоефективних рішень, таких як сонячні панелі, біогазові установки та геотермальні системи [5, 42, 50]. Технологічні виклики становлять 20% і пов'язані з високою вартістю обладнання, що створює бар'єри для малих господарств, а також з потребою у кваліфікованому персоналі для обслуговування техніки [45, 46]. Соціально-економічні виклики складають 15% і стосуються скорочення робочих місць через автоматизацію виробничих процесів, що потребує перенавчання працівників для роботи з новими технологіями [11, 63].

Організаційні виклики, що займають 10%, пов'язані з необхідністю розробки ефективних стратегій управління новими технологіями та оптимізації логістичних процесів [2, 7, 52]. Таким чином, найбільша увага має бути зосереджена на вирішенні екологічних та енергоефективних проблем, які разом складають 55% усіх викликів механізації тваринництва.

Інноваційні технології у механізації тваринництва. Інноваційні технології відіграють вирішальну роль у розвитку механізації тваринництва, сприяючи підвищенню продуктивності, ефективності та сталості виробництва. Основні напрямки впровадження таких технологій охоплюють автоматизацію, використання відновлюваних джерел енергії, точне землеробство та інтеграцію сучасних інформаційних систем.

Автоматизація процесів. Автоматизовані системи годування, доїння та управління фермою стали базовим компонентом сучасного тваринництва. Вони дозволяють скоротити витрати праці, зменшити втрати корму і підвищити точність виконання завдань. Наприклад, автоматичні системи годування забезпечують оптимальне дозування кормів, що позитивно впливає на продуктивність тварин [45, 46].

Доїльні роботи значно підвищують якість молока та ефективність роботи ферм, мінімізуючи вплив людського фактора [11, 63].

Використання відновлюваних джерел енергії. Інтеграція біогазових установок, сонячних панелей та геотермальних джерел енергії є важливим напрямком у сталому розвитку тваринництва. Біогазові установки дозволяють переробляти відходи тваринництва, отримуючи енергію для внутрішніх потреб господарства [24, 48]. Сонячні панелі використовуються для енергопостачання систем освітлення, вентиляції та обігріву приміщень [42, 62].

Точне землеробство та моніторинг. Технології точного землеробства, які включають використання датчиків, GPS та програмного забезпечення для аналізу даних, успішно впроваджуються у тваринництві. Вони дозволяють відстежувати стан здоров'я тварин, контролювати витрати корму та води, а також оптимізувати використання ресурсів [7, 27]. Датчики для моніторингу мікроклімату в приміщеннях для утримання тварин допомагають підтримувати оптимальні умови, що знижує стрес у тварин і підвищує їхню продуктивність [58].

Інтегровані системи управління. Сучасні інформаційні системи для управління фермою об'єднують дані про стан тварин, витрати ресурсів та ефективність процесів. Такі системи дозволяють приймати обґрунтовані рішення для підвищення продуктивності й сталості виробництва [67].

Інноваційні рішення для енергоефективності. Комбіновані системи тепла та електроенергії, які працюють на біомасі, дозволяють значно зменшити витрати на енергопостачання. Наприклад, використання теплових насосів і систем рекуперації тепла сприяє економії енергії у великих господарствах [50, 66].

Перспективи впровадження. Інноваційні технології в механізації тваринництва дозволяють не лише знижувати витрати, а й мінімізувати негативний вплив на довкілля. Їхнє впровадження сприяє підвищенню рентабельності, що особливо важливо для великих ферм і малих господарств, які хочуть залишатися конкурентоспроможними [1, 5, 53].

Таким чином, інноваційні технології у механізації тваринництва є основою сталого розвитку галузі, забезпечуючи ефективне використання ресурсів, зниження витрат і підвищення якості продукції.

Узагальнюючі ключові напрями інноваційних технологій у механізації тваринництва, їхні переваги та джерела для подальшого вивчення представлені в (табл. 2).

Таблиця 2

Інноваційні технології у механізації тваринництва

Напрямок технологій	Опис	Переваги	Джерела
Автоматизація процесів	Використання автоматизованих систем годування, доїння, моніторингу стану тварин.	Скорочення витрат праці, мінімізація втрат корму, підвищення продуктивності.	[11, 45, 46, 63]
Відновлювані джерела енергії	Інтеграція біогазових установок, сонячних панелей, геотермальних джерел енергії.	Скорочення енергозатрат, утилізація відходів, зменшення викидів вуглекислого газу.	[24, 42, 48, 62]
Точне землеробство	Використання GPS, датчиків і програмного забезпечення для моніторингу стану тварин і оптимізації ресурсів.	Контроль здоров'я тварин, оптимізація використання кормів і води, зниження витрат.	[7, 27, 58]
Моніторинг мікроклімату	Датчики для вимірювання температури, вологості, якості повітря в приміщеннях для утримання тварин.	Підтримання оптимальних умов, зниження стресу тварин, підвищення продуктивності.	[7, 58]
Інтегровані системи управління	Програмні системи для аналізу та управління даними про стан тварин, витрати ресурсів, ефективність процесів.	Прийняття обґрунтованих рішень, зниження витрат, підвищення ефективності.	[67]
Енергоефективні рішення	Використання теплових насосів, систем рекуперації тепла, комбінованих теплоелектростанцій на біомасі.	Зниження витрат на енергію, підвищення енергоефективності великих господарств.	[50, 66]
Переробка відходів	Використання органічних відходів для виробництва біогазу, добрив або енергії.	Зменшення забруднення, отримання додаткової енергії або прибутку від реалізації добрив.	[24, 48]

Розподіл внеску основних інноваційних технологій у механізацію тваринництва ілюструє (рис.2). Найбільший внесок припадає на автоматизацію процесів, яка охоплює системи годування, доїння та моніторинг тварин. Впровадження цих технологій дозволяє значно скоротити витрати праці, зменшити втрати корму та підвищити ефективність господарств [45, 46, 63].

Відновлювані джерела енергії, такі як біогазові установки, сонячні панелі та геотермальні системи, займають значну частку, оскільки вони сприяють скороченню енергозатрат і мінімізації екологічного впливу [24, 42, 48, 62].

Технології точного землеробства, що використовують GPS, датчики та програмне забезпечення, забезпечують оптимізацію використання ресурсів і моніторинг стану тварин, що також має значний вплив на сталий розвиток [7, 27].

Моніторинг мікроклімату за допомогою датчиків для контролю температури та вологості допомагає підтримувати комфортні умови для тварин, знижуючи стрес і покращуючи продуктивність [58]. Інтегровані системи управління дозволяють ефективно аналізувати дані про стан тварин, витрати ресурсів і ефективність

виробничих процесів, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень для підвищення продуктивності [67].



Рис. 2. Розподіл внеску інноваційних технологій у механізацію тваринництва.

Енергоефективні рішення, такі як комбіновані теплоелектростанції та системи рекуперації тепла, сприяють скороченню витрат на енергопостачання та підвищенню ефективності великих господарств [50, 66].

Переробка відходів через біогазові установки або виробництво органічних добрив забезпечує екологічну та економічну вигоду, зменшуючи негативний вплив на довкілля [24, 48].

Енергоефективність та збереження ресурсів. Енергоефективність і раціональне використання ресурсів є ключовими аспектами сталого розвитку механізації тваринництва. Впровадження сучасних технологій дозволяє зменшити енергозатрати, оптимізувати використання природних ресурсів і мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Відновлювані джерела енергії. Одним із важливих напрямів є використання відновлюваних джерел енергії. Біогазові установки, що працюють на органічних відходах тваринництва, забезпечують енергією для внутрішніх потреб ферм і зменшують залежність від викопного палива. Це також сприяє утилізації відходів і зменшенню викидів парникових газів [24, 48]. Сонячні панелі широко застосовуються для забезпечення освітлення, вентиляції та обігріву приміщень, особливо в регіонах із високою інсоляцією [42, 62]. Геотермальні системи використовуються для обігріву та охолодження, забезпечуючи стабільність мікроклімату на фермах [4, 50].

Теплоенергетичні рішення. Сучасні системи комбінованого виробництва тепла та електроенергії (когенераційні установки) дозволяють ефективно використовувати енергію, знижуючи витрати на її виробництво. Наприклад, використання систем рекуперації тепла забезпечує повторне використання теплової енергії для обігріву приміщень і підготовки води [66].

Збереження водних ресурсів. Раціональне використання води в тваринництві забезпечується через впровадження сучасних систем зрошення та водозабезпечення. Датчики для контролю вологості та автоматизовані системи подачі води дозволяють

зменшити втрати, забезпечуючи точне водопостачання [47, 61]. Управління стоками також сприяє збереженню якості водних ресурсів і зменшенню їх забруднення [29].

Оптимізація використання кормів. Технології автоматизованого годування дозволяють точно дозувати корм, що знижує його перевитрати та покращує раціон тварин. Це не лише зменшує витрати, а й сприяє підвищенню продуктивності за рахунок раціонального використання ресурсів [45, 46].

Переробка відходів. Органічні відходи тваринництва переробляються у біогаз або використовуються для виробництва органічних добрив. Це забезпечує як економічну, так і екологічну вигоду, мінімізуючи забруднення довкілля [24, 48].

Перспективи розвитку. Інтеграція енергоефективних рішень у механізацію тваринництва дозволяє не лише зменшити енергозатрати, але й забезпечити стабільність виробництва навіть у складних кліматичних умовах. Використання відновлюваних джерел енергії, раціонального водопостачання та автоматизації годування створює основу для сталого розвитку галузі [7, 42, 58].

Таким чином, енергоефективність і збереження ресурсів є фундаментальними напрямками для забезпечення рентабельності та екологічності тваринництва. Впровадження цих рішень сприяє підвищенню продуктивності, зниженню витрат і збереженню природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Таблиця 3 підсумовує ключові напрямки енергоефективності та збереження ресурсів у механізації тваринництва, їхні переваги та джерела для подальшого вивчення.

Таблиця 3

Енергоефективність та збереження ресурсів у механізації тваринництва

Напрямок	Опис	Переваги	Джерела
Відновлювані джерела енергії	Використання біогазу, сонячних панелей, геотермальних систем для забезпечення енергії.	Скорочення енергозатрат, зменшення залежності від викопного палива, утилізація відходів.	[24, 42, 48, 62]
Теплоенергетичні рішення	Комбіновані когенераційні системи, рекуперація тепла для обігріву та нагріву води.	Економія енергії, повторне використання тепла, зниження витрат на енергопостачання.	[50, 66]
Збереження водних ресурсів	Автоматизовані системи подачі води, датчики вологості, управління стоками.	Зменшення втрат води, збереження її якості, оптимізація використання в господарствах.	[47, 61, 29]
Оптимізація використання кормів	Автоматизовані системи годування для точного дозування корму.	Зниження перевитрат, покращення раціону, підвищення продуктивності тварин.	[45, 46]
Переробка відходів	Перетворення органічних відходів на біогаз або органічні добрива.	Мінімізація забруднення, додатковий прибуток, використання відходів як ресурсів.	[24, 48]

Рисунок 3 ілюструє розподіл основних напрямків енергоефективності та збереження ресурсів у механізації тваринництва. Найбільшу частку займає використання відновлюваних джерел енергії, таких як біогазові установки, сонячні

панелі та геотермальні системи, які забезпечують скорочення енергозатрат, утилізацію відходів та зменшення викидів парникових газів [24, 42, 48, 62].

На другому місці знаходяться теплоенергетичні рішення, включаючи когенераційні системи та рекуперацію тепла, які дозволяють повторно використовувати теплову енергію для обігріву приміщень і підігріву води, знижуючи витрати енергії [50, 66].



Рис. 3. Розподіл напрямків енергоефективності та збереження ресурсів у тваринництві.

Збереження водних ресурсів також є важливим аспектом. Автоматизовані системи подачі води, контроль вологості та управління стоками сприяють зменшенню втрат води та забезпеченню її раціонального використання [47, 61, 29].

Оптимізація використання кормів, завдяки автоматизованим системам годування, дозволяє знизити перевитрати корму, поліпшити раціон тварин і підвищити продуктивність [45, 46].

Переробка відходів займає значну частку в структурі енергоефективності. Органічні відходи використовуються для виробництва біогазу або органічних добрив, що мінімізує забруднення довкілля та приносить додаткову економічну вигоду [24, 48].

Рисунок підкреслює важливість інтеграції різних напрямків енергоефективності для сталого розвитку галузі тваринництва.

Сталість та перспективи розвитку. Сталий розвиток механізації тваринництва є основним завданням сучасної агропромислової галузі. Він спрямований на інтеграцію екологічних, економічних і соціальних підходів для забезпечення довготривалих позитивних результатів.

Екологічна сталість. Одним із ключових аспектів є зниження екологічного впливу. Використання відновлюваних джерел енергії (біогаз, сонячні панелі, геотермальні системи) і впровадження технологій утилізації відходів дозволяють мінімізувати забруднення ґрунтів, води й атмосфери. Це сприяє зменшенню викидів парникових газів і забезпеченню чистоти навколишнього середовища [24, 42, 48, 62].

Економічна сталість. Економічна ефективність досягається через оптимізацію витрат і підвищення продуктивності. Впровадження автоматизованих систем годування, доїння та моніторингу тварин дозволяє зменшити витрати праці й ресурсів, що робить фермерські господарства більш конкурентоспроможними. Крім того, переробка органічних відходів на біогаз або органічні добрива приносить додатковий прибуток [45, 46, 24].

Соціальна сталість. Механізація створює нові можливості для зайнятості, зокрема в обслуговуванні сучасного обладнання та управлінні фермерськими

системами. Перенавчання працівників і створення умов для їхньої адаптації до нових технологій сприяє збереженню соціальної рівноваги в сільських регіонах [11, 63].

Інтеграція сталих технологій. Сталість розвитку механізації також залежить від впровадження точного землеробства та інтегрованих систем управління. Ці технології дозволяють ефективно управляти ресурсами, приймати обґрунтовані рішення на основі даних і оптимізувати виробничі процеси [7, 67].

Перспективи розвитку. Перспективи сталого розвитку механізації тваринництва охоплюють такі напрями:

1. Розширення використання відновлюваних джерел енергії. Ширше впровадження сонячних панелей, біогазових установок і геотермальних систем забезпечить енергетичну незалежність фермерських господарств [24, 42].

2. Інтеграція цифрових технологій. Використання штучного інтелекту та великих даних для моніторингу, прогнозування та управління процесами значно підвищить ефективність виробництва [67].

3. Розвиток нових ринків. Виробництво органічних добрив і біогазу відкриває додаткові джерела прибутку для фермерів [24, 48].

Таблиця 4 підсумовує основні напрямки сталості та перспективи розвитку механізації тваринництва, акцентуючи увагу на екологічних, економічних і соціальних перевагах.

Таблиця 4

Сталість та перспективи розвитку механізації тваринництва

Напрямок сталості	Опис	Переваги	Джерела
Екологічна сталість	Використання відновлюваних джерел енергії та утилізація відходів.	Зменшення забруднення довкілля, скорочення викидів парникових газів.	[24, 42, 48, 62]
Економічна сталість	Оптимізація витрат через автоматизацію та переробку відходів у біогаз і добрива.	Зниження витрат, підвищення продуктивності, додатковий прибуток.	[45, 46, 24]
Соціальна сталість	Створення нових робочих місць у сфері обслуговування техніки та управління.	Збереження зайнятості, розвиток нових професій у сільській місцевості.	[11, 63]
Інтеграція технологій	Використання точного землеробства та цифрових систем управління.	Оптимізація ресурсів, обґрунтоване управління, підвищення ефективності виробничих процесів.	[7, 67]
Розширення відновлюваних джерел	Ширше впровадження біогазових установок, сонячних панелей та геотермальних систем.	Енергетична незалежність, скорочення витрат на традиційні джерела енергії.	[24, 42]
Інтеграція цифрових технологій	Використання штучного інтелекту та великих даних для моніторингу та прогнозування.	Підвищення ефективності, зниження ризиків, покращення управління процесами.	[66, 67, 68, 69]
Розвиток нових ринків	Виробництво органічних добрив і біогазу.	Нові джерела доходів, розвиток екологічно чистої продукції.	[24, 48]

Рисунок 4 ілюструє розподіл основних напрямків сталого розвитку механізації тваринництва, акцентуючи увагу на ключових аспектах екологічної, економічної та соціальної сталості. Найбільшу частку займає екологічна сталість, що включає використання відновлюваних джерел енергії (біогазові установки, сонячні панелі, геотермальні системи) та утилізацію органічних відходів. Ці заходи сприяють зменшенню забруднення довкілля та скороченню викидів парникових газів [24, 42, 48, 62]. Економічна сталість займає другу за величиною частку, охоплюючи автоматизацію процесів та переробку відходів для отримання біогазу та органічних добрив, що знижує витрати і приносить додатковий прибуток [45, 46, 24].



Рис. 4. Розподіл напрямків сталості та перспектив розвитку механізації тваринництва.

Соціальна сталість представлена створенням нових робочих місць у сфері обслуговування техніки та управління фермерськими системами, що сприяє розвитку сільських регіонів і збереженню соціальної рівноваги [11, 63].

Інтеграція технологій, включаючи точне землеробство та цифрові системи управління, сприяє ефективному використанню ресурсів і прийняттю обґрунтованих управлінських рішень [7, 67].

Розширення відновлюваних джерел енергії, таких як біогазові установки і сонячні панелі, забезпечує енергетичну незалежність фермерських господарств [24, 42]. Інтеграція цифрових технологій, включаючи штучний інтелект і великі дані, відкриває нові можливості для управління та моніторингу [67, 68, 69].

Розвиток нових ринків, наприклад виробництва органічних добрив і біогазу, створює додаткові джерела доходу для фермерів і сприяє зростанню попиту на екологічно чисту продукцію [24, 48].

Обговорення

Сучасна механізація тваринництва демонструє значний прогрес у впровадженні інноваційних технологій, спрямованих на підвищення продуктивності, ефективності й

сталості. Однак реалізація таких рішень супроводжується викликами, що потребують комплексного підходу та ретельного планування.

Екологічні аспекти. Впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як біогазові установки, сонячні панелі та геотермальні системи, дозволяє значно знизити екологічне навантаження. Водночас, для максимального ефекту необхідна оптимізація процесів утилізації відходів, що може стати економічно вигідним за рахунок виробництва органічних добрив або додаткової енергії [24, 42, 48, 62].

Економічні вигоди та обмеження. Автоматизація процесів годування, доїння та моніторингу тварин є одним із найважливіших напрямів. Вона дозволяє зменшити витрати на ручну працю, підвищити якість продукції та зменшити втрати корму. Проте впровадження таких систем часто вимагає значних початкових інвестицій, що може бути перешкодою для малих господарств [45, 46, 63].

Соціальний вплив. Інтеграція сучасних технологій сприяє створенню нових робочих місць у сферах обслуговування техніки, управління та аналізу даних. Водночас автоматизація може скоротити кількість традиційних робочих місць, що створює виклики для зайнятості в сільських регіонах. Це потребує перенавчання працівників і створення умов для адаптації до змін [11, 63].

Технологічні перспективи. Точне землеробство, цифрові системи управління та інтелектуальні технології відкривають нові можливості для підвищення ефективності. Вони дозволяють зменшити втрати ресурсів, покращити управління мікрокліматом і відстежувати стан тварин у реальному часі. Проте їх впровадження потребує доступу до сучасного обладнання та висококваліфікованих кадрів [7, 67].

Перспективи розвитку. Перспективними напрямками є розширення використання відновлюваних джерел енергії, інтеграція штучного інтелекту та великих даних для управління фермерськими системами, а також розвиток нових ринків органічної продукції та добрив. Це дозволить забезпечити конкурентоспроможність тваринництва на глобальному рівні, зберігаючи при цьому екологічну та соціальну сталість [24, 48, 67].

Висновки

1. Інноваційні технології як основа розвитку. Сучасна механізація тваринництва базується на впровадженні інноваційних технологій, таких як автоматизація, використання відновлюваних джерел енергії, точне землеробство та інтегровані системи управління. Це дозволяє оптимізувати виробничі процеси, підвищувати продуктивність та зменшувати витрати.

2. Енергоефективність і збереження ресурсів. Інтеграція енергоефективних рішень, таких як когенераційні установки, біогазові системи, сонячні панелі та геотермальні джерела, забезпечує зниження енергозатрат і раціональне використання природних ресурсів. Це сприяє як економічній, так і екологічній сталості.

3. Сталий розвиток. Механізація тваринництва сприяє сталому розвитку, інтегруючи екологічні, економічні та соціальні аспекти. Використання екологічно чистих технологій знижує забруднення навколишнього середовища, а економічні переваги, зокрема додатковий прибуток від переробки відходів, забезпечують конкурентоспроможність фермерських господарств.

4. Соціальний вплив. Автоматизація створює нові можливості для зайнятості в управлінні й обслуговуванні технологій, але потребує перенавчання працівників. Це сприяє розвитку сільських регіонів і збереженню соціальної рівноваги.

5. Перспективи розвитку. Майбутні дослідження мають бути зосереджені на інтеграції штучного інтелекту, великих даних і автоматизованих систем для

підвищення ефективності управління. Подальше розширення використання відновлюваних джерел енергії та розвиток нових ринків, таких як органічні добрива, сприятиме довгостроковій сталості галузі.

6. Необхідність комплексного підходу. Розвиток механізації тваринництва потребує комплексного підходу, який враховує взаємозв'язок економічних, екологічних і соціальних факторів. Підтримка з боку державних структур, міжнародна співпраця та обмін технологіями стануть ключовими елементами успішної інтеграції інновацій.

Таким чином, механізація тваринництва має великий потенціал для забезпечення сталого розвитку галузі. Інноваційні рішення, спрямовані на енергоефективність, автоматизацію й інтеграцію сучасних технологій, створюють основу для підвищення продуктивності, зменшення витрат і збереження природних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Kodirov, D., Muratov, K., Tursunov, O., Ugwu, E., & Durmanov, A. The use of renewable energy sources in integrated energy supply systems for agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 614(1). 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012007>
2. Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y., & Saffa, R. A comprehensive review on renewable and sustainable heating systems for poultry farming. International Journal of Low-Carbon Technologies. 2020. 15(1). p.p.121–135. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz048>
3. Paul, B., Groot, J., Birnholz, C., Nzogela, B., Notenbaert, A., Woyessa, K., Sommer, R., Nijbroek, R., & Tittonell, P. Reducing agro-environmental trade-offs through sustainable livestock intensification across smallholder systems in Northern Tanzania. International Journal of Agricultural Sustainability. 2020. 18(1). p.p. 31–52. <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1695348>
4. Paris, B., Vadorou, F., Tyris, D., Balafoutis, A., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakis, D., & Papadakis, G. Energy use in the EU livestock sector: A review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption. Applied Sciences. 2022. 12(4), 2142. <https://doi.org/10.3390/app12042142>
5. Augustyn, G., Mikulik, J., Rumin, R., & Szyba, M. Energy self-sufficient livestock farm as the example of agricultural hybrid off-grid system. Energies. 2021. 14(21). 7041. <https://doi.org/10.3390/en14217041>
6. Romaniuk, W., Mazur, K., Borek, K., Borusiewicz, A., Wardal, W. J., Tabor, S., & Kuboń, M. Biomass energy technologies from innovative dairy farming systems. Processes. 2021. 9(2). 335. <https://doi.org/10.3390/PR9020335>
7. Wahyudi, J. The potential of energy production and greenhouse gases emissions reduction of dairy farm biogas production. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1034(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1034/1/012085>
8. Čehajić, N. Biogas cogeneration plant on a dairy farm. Energetika. 2023. 25(3). p.p. 89–98. <https://doi.org/10.24094/ptk.023.015>
9. Reddy, B. V., Cuomo, M., Kool, E., & Rosen, M. Economic and environmental analyses of multi-generation renewable energy systems for dairy farms. European Journal of Sustainable Development Research. 2021. 5(4). 11397. <https://doi.org/10.21601/ejosdr/11397>
10. Pochwatka, P., Kowalczyk-Juško, A., Sołowiej, P., Wawrzyniak, A., & Dach, J. Biogas plant exploitation in a middle-sized dairy farm in Poland: Energetic and economic aspects. Energies. 2020. 13(22). 6058. <https://doi.org/10.3390/en13226058>

11. Shalini, Kukshal, P., Singh, V., & Kushwaha, G. Gross energetics in the evaluation of the functioning of instructional dairy farm at Pantnagar, India. *Indian Journal of Animal Sciences*. 2022. 92(5). p.p. 386–392. <https://doi.org/10.56093/ijans.v92i5.115858>
12. Radko, V. Economic aspects of energy efficiency in Ukrainian agricultural enterprises' dairy farming. *Ekonomika APK*. 2019. 148(1). p.p. 65–75. <https://doi.org/10.33245/2310-9262-2019-148-1-65-75>
13. Salman, D., Aisyah, R. S., Siregar, A. R., & Baba, S. Coexistence mode of production based dairy cow supporting farming in producing biogas as renewable energy resources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 473(1). 012113. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012113>
14. Bagdadee, A. H., Maitraya, A. M., Islam, M. A., & Siddique, M. N. A review on hybrid energy generation: Cow dung biogas, solar thermal and kinetic energy integration for power production. *Energy and Environment*. 2023. 34(9). p.p. 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.09.004>
15. Aisyah, R. S., Salman, D., Siregar, A. R., & Baba, S. Potential of biogas production as renewable energy in smallholder dairy farming in Enrekang District, South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 473(1). 012114. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012114>
16. Liu, J., Xu, Q., & Zhou, T. Role of mechanization: The impact of the cropland use scale on fertilizer reduction. *Frontiers in Environmental Science*. 2022. 10, 1053715. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1053715>
17. Gousiya, S., & Suseela, K. Energy use pattern and energy efficiency of mechanized rice production in West Godavari District of Andhra Pradesh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. 9(8). p.p. 1548–1557. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.178>
18. Purba, T., Helmi, H., Sembiring, F., Siagian, D. R., Haloho, L., Girsang, M. A., & Ramija, K. E. Measuring the effectiveness of agricultural mechanization performance on irrigated rice area in Batubara Regency. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*. 2021. 9(36). e2304503. <https://doi.org/10.4108/eai.14-9-2020.2304503>
19. Manwatkar, A., Khobragade, P., Waghmare, S., & Khope, P. Trends of mechanization in Indian agricultural fields: A review. *International Journal of Innovative Engineering and Sciences*. 2021. 6(9). p.p. 8–15. <https://doi.org/10.46335/ijies.2021.6.9.2>
20. Miyamoto, D., Desrial, & Edris, I. Technologies required to improve agricultural issues of Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 557(1). 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/557/1/012037>
21. Namdeo, A., Victor, V., & Dhruwe, N. K. (2020). Status of farm mechanization under animal farming in Bastar Plateau agro-climatic zone of Chhattisgarh. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. 9(5). p.p. 412–418. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.047>
22. Rakhra, M., Deb, P., Dahiya, O., Chandel, S., Bhutta, B., Badotra, S., Kumar, S., Shaukat, A., & Singh, D. An analytical study of the types of implements used by farmers in mechanized agriculture. *IEEE Conference Publications*. 2022. 9751983. <https://doi.org/10.1109/MECON53876.2022.9751983>
23. Chaudhari, A., & Moses, S. C. A study on agricultural mechanization status under paddy and wheat crop production in central region of Uttar Pradesh, India. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. 13(10). p.p. 948–963. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102948>
24. Mallesh, S., & Yadav, E. B. Farm mechanization level for paddy production in Uttar Pradesh: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 2020. 9(8). p.p. 64–70. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i8b.5011>

25. Kandpal, A., Kar, A., Immanuelraj, K. T., Singh, A., Jha, G., & Singh, P. Insights on ownership pattern and demand for machinery in Indian agriculture. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022. 92(1). p.p. 89–97. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i1.120880>
26. Yamamoto, A., Kusudo, T., Kimura, M., & Matsuno, Y. Performance assessment of farm machinery for persimmon fruit cultivation in a Japanese mountainous area. *Agricultural Engineering*. 2022. 4(1). p.p. 11–22. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010002>
27. Sudhakar, C., & Sudha Rani, C. Selective mechanization: A way forward in augmenting the productivity and profitability of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Oilseeds Research*, 37(Special Issue). (2023). p.p. 21–30. <https://doi.org/10.56739/jor.v37ispecialissue.140949>
28. Sunil, Paras, D., Loura, A., Fedotov, A. G., Kumar, S., & Shalu. Precision agriculture: Future demand of India. *Research Biotica*. 2021. 3(1). p.p. 1–9. <https://doi.org/10.54083/resbio/3.1.2021.01-09>
29. Pitono, J. Precision farming in pepper cultivation. *Perspektif*. 2020. 18(2). p.p. 91–103. <https://doi.org/10.21082/PSP.V18N2.2019.91-103>
30. Ahmed, S., Bagal, Y. S., Mahajan, R., & Sharma, L. K. Impact of farm mechanization on crop productivity in sub-tropical areas of Jammu and Kashmir. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020. 9(5). p.p. 1073–1082. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.128>
31. Beluhova-Uzunova, R., & Dunchev, D. Precision farming: Concepts and perspectives. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*. 2019(4). p.p. 118–130. <https://doi.org/10.30858/zer/112132>
32. Kusumandari, K., Iriani, Y., Suryana, R., Nurosyid, F., Widiyandari, H., & Khairuddin, K. Utilization of livestock manure as a source of biogas for renewable energy. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1825(1). 012100. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012100>
33. Stadnik, M., Gunko, I., & Protsenko, D. Independent electricity supply to livestock farms based on renewable energy sources. *Technology Audit and Production Reserves*. 2020. 1(15). p.p. 12–16. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2020-1-15>
34. Nugraha, A. T., Prayitno, G., & Himah, D. A. The concept for the development of biogas as renewable energy in rural Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2021. 16(6). p.p. 1063–1074. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.160618>
35. Indrawati, R., Prasetyowati, S. H., & Widyaputra, P. K. Teknologi peternakan terpadu berbasis energi baru terbarukan di Kabupaten Tangerang. *Jurnal Kacaneagara*. 2021. 4(1). p.p. 75–86. <https://doi.org/10.28989/kacaneagara.v4i1.857>
36. Caetano, B., Santos, N. D. S. A., Hanriot, V. M., Sandoval, O. R., & Huebner, R. Energy conversion of biogas from livestock manure to electricity using a Stirling engine. *Energy Conversion and Management: X*. 2022. 13. 100224. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100224>
37. Hidayati, S., Utomo, T. P., Suroso, E., & Maktub, Z. A. Technical and technological aspects assessment of biogas agroindustry from cow manure. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 230(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012072>
38. Wahyuni, S., Sutjahjo, S., Purwanto, Y., Fuah, A. M., & Kurniawan, R. The model of biogas utilization from livestock manure using farmer group approach to meet alternative energy at household scale. *Jurnal Teknologi*. 2019. 8(5). p.p. 17–23. (No DOI available).

39. Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F., & Pugliese, C. Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*. 2021. 15(6). 100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>
40. Mauro, A., Petrucci, A., Forzano, C., Giuzio, G., Buonomano, A., & Athienitis, A. Design and environmental sustainability assessment of energy-independent communities: The case study of a livestock farm in the North of Italy. *Energy Reports*. 2021. 7(1). p.p. 4605–4615. <https://doi.org/10.1016/j.egyrep.2021.05.080>
41. Medvedev, A. Energy-saving technological decisions of steers management. *Sel'skokhozyaistvennaya Energiya*. 2020. 10(7). p.p. 24–35. <https://doi.org/10.33920/SEL-10-2007-06>
42. Sklyar, A., Marinchenko, T., Davydova, M., & Asryan, G. Improving the energy system of a poultry enterprise. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 403(1). 012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012043>
43. Araújo, G. L., Feiden, A., Nogueira, C. C., & Reis, G. Technical-economic viability of tubular biodigester and photovoltaic energy for rural property. *International Journal of Development Research*. 2022. 10(6). p.p. 55–61. <https://doi.org/10.37118/ijdr.24748.6.2022>
44. Costantino, A., & Fabrizio, E. Envisioning an energy performance certificate for livestock houses: A general methodological development and a specific application to growing-finishing pig houses. *Journal of Cleaner Production*. 2023. 383. 139279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139279>
45. Bartkowiak, A. M. Energy-saving and low-emission livestock buildings in the concept of a smart farming. *Journal of Water and Land Development*. 2023. 58(4). p.p. 32–45. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.139935>
46. Shablia, V. P., & Tkachova, I. V. Machine and manual working actions for different manure removing technologies. *Boletim de Indústria Animal*. 2020. 77. p.p. 1-14. <https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1482>
47. Moustakas, K., Loizidou, M., Rehan, M., & Nizami, A. S. A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: Key challenges and future perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020. 119. p.p. 109418. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109418>
48. Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A., Kumar, S., & Clay, S. Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security—A review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021. 5. 100190. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>
49. Walston, L. J., Barley, T., Bhandari, I., Campbell, B., McCall, J., Hartmann, H. M., & Dolezal, A. G. Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs and address sustainability goals. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022. 6. 932018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.932018>
50. Henchion, M., Moloney, A. P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*. 2021. 15. 100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>
51. Al-Shetwi, A. Q. Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends, environmental impacts, and recent challenges. *Science of The Total Environment* 2022. 822. 153645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153645>
52. Martin, G., Barth, K., Benoit, M., Brock, C., Destruel, M., Dumont, B., ... & Primi, R. Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. *Agricultural Systems*. 2020. 181. 102821. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102821>

53. Al-Ghussain, L., Ahmad, A. D., Abubaker, A. M., & Mohamed, M. A. An integrated photovoltaic/wind/biomass and hybrid energy storage systems towards 100% renewable energy microgrids in university campuses. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021. 46. 101273. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101273>
54. Danda, R. R. Innovations in Agricultural Machinery: Assessing the Impact of Advanced Technologies on Farm Efficiency. *Journal of Artificial Intelligence and Big Data*. 2024. 2(1). p.p. 64-83. <https://doi.org/10.31586/jaibd.2022.1156>
55. Gorjian, S., Ebadi, H., Trommsdorff, M., Sharon, H., Demant, M., & Schindele, S. The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of cleaner production*. 2021. 292. 126030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>
56. Jiang, M., Hu, X., Chunga, J., Lin, Z., & Fei, R. Does the popularization of agricultural mechanization improve energy-environment performance in China's agricultural sector?. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 276. 124210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124210>
57. Wu, S., & Ding, S. Efficiency improvement, structural change, and energy intensity reduction: Evidence from Chinese agricultural sector. *Energy Economics*. 2021. 99. 105313. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105313>
58. Sharma, V., Tripathi, A. K., & Mittal, H. Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. 201. 107217. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107217>
59. Moerkerken, A., Duijndam, S., Blasch, J., van Beukering, P., & Smit, A. Determinants of energy efficiency in the Dutch dairy sector: dilemmas for sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 293. 126095. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126095>
60. Nsabiyeze, A., Ma, R., Li, J., Luo, H., Zhao, Q., Tomka, J., & Zhang, M. Tackling climate change in agriculture: A global evaluation of the effectiveness of carbon emission reduction policies. *Journal of Cleaner Production*. 2024. 142973. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142973>
61. Vaintrub, M. O., Levit, H., Chincarini, M., Fusaro, I., Giammarco, M., & Vignola, G. Precision livestock farming, automats and new technologies: Possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal*. 2021. 15(3). 100143. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100143>
62. Parra-López, C., Abdallah, S. B., Garcia-Garcia, G., Hassoun, A., Sánchez-Zamora, P., Trollman, H., ... & Carmona-Torres, C. Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. 226. 109412. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109412>
63. Rong, J., Hong, J., Guo, Q., Fang, Z., & Chen, S. Path mechanism and spatial spillover effect of green technology innovation on agricultural CO2 emission intensity: A case study in Jiangsu Province, China. *Ecological Indicators*. 2023. 157. 111147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111147>
64. Corigliano, O., & Algeri, A. A comprehensive investigation on energy consumptions, impacts, and challenges of the food industry. *Energy Conversion and Management: X*. 2024. 100661. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100661>
65. Ren, X., He, J., & Huang, Z. Innovation, natural resources abundance, climate change and green growth in agriculture. *Resources Policy*. 2023. 85, 103970. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103970>
66. SaberiKamarposhti, M., Why, N. K., Yadollahi, M., Kamyab, H., Cheng, J., & Khorami, M. Cultivating a sustainable future in the artificial intelligence era: A

comprehensive assessment of greenhouse gas emissions and removals in agriculture. *Environmental Research*. 2024. 118528. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118528>

67. Bragaglio, A., Romano, E., Brambilla, M., Bisaglia, C., Lazzari, A., Giovinazzo, S., & Cutini, M. A comparison between two specialized dairy cattle farms in the upper Po Valley. Precision agriculture as a strategy to improve sustainability. *Cleaner Environmental Systems*. 2023. 11, 100146. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100146>

68. He, P., Zhang, J., & Li, W. (2021). The role of agricultural green production technologies in improving low-carbon efficiency in China: Necessary but not effective. *Journal of Environmental Management*. 2021. 293, 112837. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112837>

69. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*. 2022. 3. p.p. 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>

70. Egas, D., Ponsá, S., Llenas, L., & Colón, J. Towards energy-efficient small dairy production systems: An environmental and economic assessment. *Sustainable Production and Consumption*. 2021. 28, p.p. 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.021>

References

1. Kodirov, D., Muratov, K., Tursunov, O., Ugwu, E., & Durmanov, A. (2020). The use of renewable energy sources in integrated energy supply systems for agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012007>

2 Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y., & Saffa, R. (2020). A comprehensive review on renewable and sustainable heating systems for poultry farming. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(1), 121–135. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz048>

3. Paul, B., Groot, J., Birnholz, C., Nzogela, B., Notenbaert, A., Woyessa, K., Sommer, R., Nijbroek, R., & Tittonell, P. (2020). Reducing agro-environmental trade-offs through sustainable livestock intensification across smallholder systems in Northern Tanzania. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 18(1), 31–52. <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1695348>

4. Paris, B., Vadorou, F., Tyris, D., Balafoutis, A., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakos, 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(4), 2142. <https://doi.org/10.3390/app12042142>

5. Augustyn, G., Mikulik, J., Rumin, R., & Szyba, M. (2021). Energy self-sufficient livestock farm as the example of agricultural hybrid off-grid system. *Energies*, 14(21), 7041. <https://doi.org/10.3390/en14217041>

6. Romaniuk, W., Mazur, K., Borek, K., Borusiewicz, A., Wardal, W. J., Tabor, S., & Kuboń, M. (2021). Biomass energy technologies from innovative dairy farming systems. *Processes*, 9(2), 335. <https://doi.org/10.3390/PR9020335>

7. Wahyudi, J. (2021). The potential of energy production and greenhouse gases emissions reduction of dairy farm biogas production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1034(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1034/1/012085>

8. Čehajić, N. (2023). Biogas cogeneration plant on a dairy farm. *Energetika*, 25(3), 89–98. <https://doi.org/10.24094/ptk.023.015>

9. Reddy, B. V., Cuomo, M., Kool, E., & Rosen, M. (2021). Economic and environmental analyses of multi-generation renewable energy systems for dairy farms.

European Journal of Sustainable Development Research, 5(4), 11397.
<https://doi.org/10.21601/ejosdr/11397>

10. Pochwatka, P., Kowalczyk-Juśko, A., Sołowiej, P., Wawrzyniak, A., & Dach, J. (2020). Biogas plant exploitation in a middle-sized dairy farm in Poland: Energetic and economic aspects. *Energies*, 13(22), 6058. <https://doi.org/10.3390/en13226058>

11. Shalini, Kukshal, P., Singh, V., & Kushwaha, G. (2022). Gross energetics in the evaluation of the functioning of instructional dairy farm at Pantnagar, India. *Indian Journal of Animal Sciences*, 92(5), 386–392. <https://doi.org/10.56093/ijans.v92i5.115858>

12. Radko, V. (2019). Economic aspects of energy efficiency in Ukrainian agricultural enterprises' dairy farming. *Ekonomika APK*, 148(1), 65–75. <https://doi.org/10.33245/2310-9262-2019-148-1-65-75>

13. Salman, D., Aisyah, R. S., Siregar, A. R., & Baba, S. (2020). Coexistence mode of production based dairy cow supporting farming in producing biogas as renewable energy resources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 473(1), 012113. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012113>

14. Bagdadee, A. H., Maitraya, A. M., Islam, M. A., & Siddique, M. N. (2023). A review on hybrid energy generation: Cow dung biogas, solar thermal and kinetic energy integration for power production. *Energy and Environment*, 34(9), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.09.004>

15. Aisyah, R. S., Salman, D., Siregar, A. R., & Baba, S. (2020). Potential of biogas production as renewable energy in smallholder dairy farming in Enrekang District, South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 473(1), 012114. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012114>

16. Liu, J., Xu, Q., & Zhou, T. (2022). Role of mechanization: The impact of the cropland use scale on fertilizer reduction. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1053715. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1053715>

17. Gousiya, S., & Suseela, K. (2020). Energy use pattern and energy efficiency of mechanized rice production in West Godavari District of Andhra Pradesh, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 1548–1557. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.178>

18. Purba, T., Helmi, H., Sembiring, F., Siagian, D. R., Haloho, L., Girsang, M. A., & Ramija, K. E. (2021). Measuring the effectiveness of agricultural mechanization performance on irrigated rice area in Batubara Regency. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 9(36), e2304503. <https://doi.org/10.4108/eai.14-9-2020.2304503>

19. Manwatkar, A., Khobragade, P., Waghmare, S., & Khope, P. (2021). Trends of mechanization in Indian agricultural fields: A review. *International Journal of Innovative Engineering and Sciences*, 6(9), 8–15. <https://doi.org/10.46335/ijies.2021.6.9.2>

20. Miyamoto, D., Desrial, & Edris, I. (2019). Technologies required to improve agricultural issues of Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 557(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/557/1/012037>

21. Namdeo, A., Victor, V., & Dhruwe, N. K. (2020). Status of farm mechanization under animal farming in Bastar Plateau agro-climatic zone of Chhattisgarh. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 412–418. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.047>

22. Rakhra, M., Deb, P., Dahiya, O., Chandel, S., Bhutta, B., Badotra, S., Kumar, S., Shaukat, A., & Singh, D. (2022). An analytical study of the types of implements used by farmers in mechanized agriculture. *IEEE Conference Publications*, 2022, 9751983. <https://doi.org/10.1109/MECON53876.2022.9751983>

23. Chaudhari, A., & Moses, S. C. (2023). A study on agricultural mechanization status under paddy and wheat crop production in central region of Uttar Pradesh, India.

International Journal of Environment and Climate Change, 13(10), 948–963.
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102948>

24. Mallesh, S., & Yadav, E. B. (2020). Farm mechanization level for paddy production in Uttar Pradesh: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 9(8), 64–70.
<https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i8b.5011>

25. Kandpal, A., Kar, A., Immanuelraj, K. T., Singh, A., Jha, G., & Singh, P. (2022). Insights on ownership pattern and demand for machinery in Indian agriculture. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(1), 89–97. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i1.120880>

26. Yamamoto, A., Kusudo, T., Kimura, M., & Matsuno, Y. (2022). Performance assessment of farm machinery for persimmon fruit cultivation in a Japanese mountainous area. *Agricultural Engineering*, 4(1), 11–22. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010002>

27. Sudhakar, C., & Sudha Rani, C. (2023). Selective mechanization: A way forward in augmenting the productivity and profitability of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Oilseeds Research*, 37(Special Issue), 21–30.
<https://doi.org/10.56739/jor.v37ispecialissue.140949>

28. Sunil, Paras, D., Loura, A., Fedotov, A. G., Kumar, S., & Shalu. (2021). Precision agriculture: Future demand of India. *Research Biotica*, 3(1), 1–9.
<https://doi.org/10.54083/resbio/3.1.2021.01-09>

29. Pitono, J. (2020). Precision farming in pepper cultivation. *Perspektif*, 18(2), 91–103. <https://doi.org/10.21082/PSP.V18N2.2019.91-103>

30. Ahmed, S., Bagal, Y. S., Mahajan, R., & Sharma, L. K. (2020). Impact of farm mechanization on crop productivity in sub-tropical areas of Jammu and Kashmir. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 1073–1082.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.128>

31. Beluhova-Uzunova, R., & Dunchev, D. (2019). Precision farming: Concepts and perspectives. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2019(4), 118–130.
<https://doi.org/10.30858/zer/112132>

32. Kusumandari, K., Iriani, Y., Suryana, R., Nurosyid, F., Widiyandari, H., & Khairuddin, K. (2021). Utilization of livestock manure as a source of biogas for renewable energy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 012100.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012100>

33. Stadnik, M., Gunko, I., & Protsenko, D. (2020). Independent electricity supply to livestock farms based on renewable energy sources. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(15), 12–16. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2020-1-15>

34. Nugraha, A. T., Prayitno, G., & Himah, D. A. (2021). The concept for the development of biogas as renewable energy in rural Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(6), 1063–1074.
<https://doi.org/10.18280/ijstdp.160618>

35. Indrawati, R., Prasetyowati, S. H., & Widyaputra, P. K. (2021). Teknologi peternakan terpadu berbasis energi baru terbarukan di Kabupaten Tangerang. *Jurnal Kacanegara*, 4(1), 75–86. <https://doi.org/10.28989/kacanegara.v4i1.857>

36. Caetano, B., Santos, N. D. S. A., Hanriot, V. M., Sandoval, O. R., & Huebner, R. (2022). Energy conversion of biogas from livestock manure to electricity using a Stirling engine. *Energy Conversion and Management: X*, 13, 100224.
<https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100224>

37. Hidayati, S., Utomo, T. P., Suroso, E., & Maktub, Z. A. (2019). Technical and technological aspects assessment of biogas agroindustry from cow manure. *Journal of Physics: Conference Series*, 230(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012072>

38. Wahyuni, S., Sutjahjo, S., Purwanto, Y., Fuah, A. M., & Kurniawan, R. (2019). The model of biogas utilization from livestock manure using farmer group approach to meet alternative energy at household scale. *Jurnal Teknologi*, 8(5), 17–23. (No DOI available).
39. Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F., & Pugliese, C. (2021). Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*, 15(6), 100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>
40. Maturo, A., Petrucci, A., Forzano, C., Giuzio, G., Buonomano, A., & Athienitis, A. (2021). Design and environmental sustainability assessment of energy-independent communities: The case study of a livestock farm in the North of Italy. *Energy Reports*, 7(1), 4605–4615. <https://doi.org/10.1016/j.egyrep.2021.05.080>
41. Medvedev, A. (2020). Energy-saving technological decisions of steers management. *Sel'skokhozyaistvennaya Energiya*, 10(7), 24–35. <https://doi.org/10.33920/SEL-10-2007-06>
42. Sklyar, A., Marinchenko, T., Davydova, M., & Asryan, G. (2019). Improving the energy system of a poultry enterprise. *Journal of Physics: Conference Series*, 403(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012043>
43. Araújo, G. L., Feiden, A., Nogueira, C. C., & Reis, G. (2022). Technical-economic viability of tubular biodigester and photovoltaic energy for rural property. *International Journal of Development Research*, 10(6), 55–61. <https://doi.org/10.37118/ijdr.24748.6.2022>
44. Costantino, A., & Fabrizio, E. (2023). Envisioning an energy performance certificate for livestock houses: A general methodological development and a specific application to growing-finishing pig houses. *Journal of Cleaner Production*, 383, 139279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139279>
45. Bartkowiak, A. M. (2023). Energy-saving and low-emission livestock buildings in the concept of a smart farming. *Journal of Water and Land Development*, 58(4), 32–45. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.139935>
46. Shablia, V. P., & Tkachova, I. V. (2020). Machine and manual working actions for different manure removing technologies. *Boletim de Indústria Animal*, 77, 1-14. <https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1482>
47. Moustakas, K., Loizidou, M., Rehan, M., & Nizami, A. S. (2020). A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: Key challenges and future perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109418. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109418>
48. Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A., Kumar, S., & Clay, S. (2021). Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security—A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>
49. Walston, L. J., Barley, T., Bhandari, I., Campbell, B., McCall, J., Hartmann, H. M., & Dolezal, A. G. (2022). Opportunities for agrivoltaic systems to achieve synergistic food-energy-environmental needs and address sustainability goals. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 932018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.932018>
50. Henschion, M., Moloney, A. P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. (2021). Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, 15, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>
51. Al-Shetwi, A. Q. (2022). Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends, environmental impacts, and recent challenges. *Science of The Total Environment*, 822, 153645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153645>
52. Martin, G., Barth, K., Benoit, M., Brock, C., Destruel, M., Dumont, B., ... & Primi, R. (2020). Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of

- livestock farms: A review. *Agricultural Systems*, 181, 102821. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102821>
53. Al-Ghussain, L., Ahmad, A. D., Abubaker, A. M., & Mohamed, M. A. (2021). An integrated photovoltaic/wind/biomass and hybrid energy storage systems towards 100% renewable energy microgrids in university campuses. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101273. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101273>
54. Danda, R. R. (2024). Innovations in Agricultural Machinery: Assessing the Impact of Advanced Technologies on Farm Efficiency. *Journal of Artificial Intelligence and Big Data*, 2(1), 64-83. <https://doi.org/10.31586/jaibd.2022.1156>
55. Gorjian, S., Ebadi, H., Trommsdorff, M., Sharon, H., Demant, M., & Schindele, S. (2021). The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of cleaner production*, 292, 126030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>
56. Jiang, M., Hu, X., Chunga, J., Lin, Z., & Fei, R. (2020). Does the popularization of agricultural mechanization improve energy-environment performance in China's agricultural sector?. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124210>
57. Wu, S., & Ding, S. (2021). Efficiency improvement, structural change, and energy intensity reduction: Evidence from Chinese agricultural sector. *Energy Economics*, 99, 105313. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105313>
58. Sharma, V., Tripathi, A. K., & Mittal, H. (2022). Technological revolutions in smart farming: Current trends, challenges & future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, 107217. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107217>
59. Moerkerken, A., Duijndam, S., Blasch, J., van Beukering, P., & Smit, A. (2021). Determinants of energy efficiency in the Dutch dairy sector: dilemmas for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126095. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126095>
60. Nsabiyeze, A., Ma, R., Li, J., Luo, H., Zhao, Q., Tomka, J., & Zhang, M. (2024). Tackling climate change in agriculture: A global evaluation of the effectiveness of carbon emission reduction policies. *Journal of Cleaner Production*, 142973. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142973>
61. Vaintrub, M. O., Levit, H., Chincarini, M., Fusaro, I., Giammarco, M., & Vignola, G. (2021). Precision livestock farming, automats and new technologies: Possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal*, 15(3), 100143. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100143>
62. Parra-López, C., Abdallah, S. B., Garcia-Garcia, G., Hassoun, A., Sánchez-Zamora, P., Trollman, H., ... & Carmona-Torres, C. (2024). Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109412. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109412>
63. Rong, J., Hong, J., Guo, Q., Fang, Z., & Chen, S. (2023). Path mechanism and spatial spillover effect of green technology innovation on agricultural CO2 emission intensity: A case study in Jiangsu Province, China. *Ecological Indicators*, 157, 111147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111147>
64. Corigliano, O., & Algieri, A. (2024). A comprehensive investigation on energy consumptions, impacts, and challenges of the food industry. *Energy Conversion and Management*: X, 100661. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100661>
65. Ren, X., He, J., & Huang, Z. (2023). Innovation, natural resources abundance, climate change and green growth in agriculture. *Resources Policy*, 85, 103970. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103970>

66. SaberiKamarposhti, M., Why, N. K., Yadollahi, M., Kamyab, H., Cheng, J., & Khorami, M. (2024). Cultivating a sustainable future in the artificial intelligence era: A comprehensive assessment of greenhouse gas emissions and removals in agriculture. *Environmental Research*, 118528. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118528>
67. Bragaglio, A., Romano, E., Brambilla, M., Bisaglia, C., Lazzari, A., Giovinazzo, S., & Cutini, M. (2023). A comparison between two specialized dairy cattle farms in the upper Po Valley. Precision agriculture as a strategy to improve sustainability. *Cleaner Environmental Systems*, 11, 100146. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100146>
68. He, P., Zhang, J., & Li, W. (2021). The role of agricultural green production technologies in improving low-carbon efficiency in China: Necessary but not effective. *Journal of Environmental Management*, 293, 112837. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112837>
69. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>
70. Egas, D., Ponsá, S., Llenas, L., & Colón, J. (2021). Towards energy-efficient small dairy production systems: An environmental and economic assessment. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.021>