ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА НААН УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

МАТЕРІАЛИ
XV-ї Науково-технічної конференції
«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»

01-16 жовтня 2026 року

Глеваха - Київ
2026

УДК 631.171

Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: XV Міжнародна науково-технічна конференція, смт Глеваха Київської області – м. Київ, Україна, 1-16 жовтня 2026 року: матеріали конференції. Глеваха-Київ. 2026. - 175 с.

В матеріалах конференції коротко викладені основні результати теоретичних та експериментальних досліджень з пріоритетних напрямків розвитку тваринництва та кормовиробництва. Наведені дані про ефективність результатів наукових досліджень та їх виробничої перевірки.

Матеріали розраховані на науковців та здобувачів наукового ступеня.

Організаційний комітет конференції: *Адамчук В.В.,* д.т.н., проф., академік НААН, директор Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України (голова оргкомітету); *Братішко В.В.,* д.т.н., проф., декан механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України (співголова оргкомітету); *Штробель В.Р.*, доктор наук, директор Інституту технологічних та природничих наук Національного дослідницького інституту, Польща, (співголова оргкомітету); *Собчук Генрик*, професор, голова вченої ради Інституту технологічних та природничих наук Національного дослідницького інституту, Польща, (співголова оргкомітету); *Viacheslav Adamchuk*, д.т.н., професор і завідувач кафедри інженерії біоресурсів в Університеті McGill, Канада, (співголова оргкомітету); *Simone Pascuzzi*, д.т.н., професор кафедри агроекологічних та територіальних наук Університету Bari, Італія, (співголова оргкомітету); *Hristo Beloev*, д.т.н., професор Русенського університету, Болгарія, (співголова оргкомітету); *Maroš Korenko*, д.т.н. професор Словацького університету сільського господарства в Нітрі, Словакія, (співголова оргкомітету); *Jüri Olt*, д.т.н., професор агротехніки Естонського університету наук про життя, Естонія, (співголова оргкомітету); *Ребенко В.І., к.*т.н., доц., доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України (секретар оргкомітету); *Кузьменко В.Ф.,* к.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу механіки та автоматики біотехнічних систем у тваринництві ІМА АПВ НААН; *Хмельовський В.С.,* д.т.н., проф., завідувач кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України; *Ткач В.В.,* к.т.н., с.н.с. завідувач відділу механіки та автоматики біотехнічних систем у тваринництві ІМА АПВ НААН; *Голуб Г.А.,* д.т.н., проф., професор кафедри тракторів, автомобілів та біоенергосистем НУБіП України; *Собчук Генрик*, професор, голова вченої ради Інституту технологічних та природничих наук Національного дослідницького інституту, Польща; *Ревенко І.І.,* д.т.н., проф., професор кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України; *Роговський І.Л.,* д.т.н., проф., завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка; *Заболотько О.О.,* к.т.н., доц., доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України; *Сівак І.М.,* к.т.н., доц., доцент кафедри сільськогосподарських машин і системотехніки ім. П.М. Василенка НУБіП України; *Тітова Л.Л.,* к.т.н., доц., доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка НУБіП України.

Рекомендовано до видання:
вченою радою ІМААПВ НААН України (протокол № 5 від «20» листопада 2026 р.);
вченою радою механіко-технологічного факультету НУБіП України
(протокол № 4 від «19» листопада 2026 року)

Адреси для листування:
08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул. Вокзальна, 11
03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12, к. 11

E-mail: ima.apv.naan@gmail.com, mtf11k@ukr.net, info@animal-conf.inf.ua
Сайт конференції: http://animal-conf.inf.ua

© ІМА АПВ НААН України, 2026
© НУБіП України, 2026

ЗМІСТ

Achkevych O., Romanchenko V.
Theoretikal studies of energy-saving technology for creating microclimate on farms 7

Баденко А.С.
Технологічні аспекти використання деревної біомаси як біосировини для агропромислового виробництва 10

Болтянський Б.В., Болтянський О.Б.
Методика математичного моделювання процесів у реакторі біогазового комплексу 13

Борак К.В., Глушаниця О.В.
Особливості обкатки двз малогабаритної автотракторної техніки, яка використовується в тваринницьких приміщеннях. 14

Борак К.В., Іщенко Т.С.
Вплив температури та швидкості сушильного агента на продуктивність модульної сушарки 20

Борак К.В., Корінчук Д.В.
Вплив експлуатаційної надійності ґрунтообробної техніки на стабільність виробництва кормів 26

Борак К.В., Нєлепін І.О.
Обґрунтування впливу конструкційно-технологічних параметрів контейнера на процес силосування кормів 30

Борак К.В., Фролова О.М.
Оптимізація тиску повітря в шинах сільськогосподарських тракторів 36

Волинець Є.
Конструктивне рішення вібраційного млина з обертовою камерою для підготовки концентрованих кормів 40

Гайденко О.М., Чипляка С.П.
Еспарцет – високоефективна та цінна культура для годівлі тварин 43

Грудовий Р.С., Писов В.С.
Вплив місткості та геометричних розмірів контейнера на природні втрати картоплі при зберіганні 47

Дацюк Д.А.
Теоретичне дослідження процесу горіння чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші для енергоживлення тваринницьких комплексів 52

Дерев'янко Д.А., Боженко О.С.
Обґрунтування шляхів підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів 55

Дерев'янко Д.А., Вазінський В.І.
Перспективи використання гумових гусеничних модулів на тракторах класу 1,4 60

Дерев'янко Д.А., Остапенко А.П.
Обґрунтування параметрів модульного укриття з урахуванням габаритних характеристик сільськогосподарських машин 66

Дерев'янко Д.А., Тарнавський М.І.
Надійність робочих органів картоплезбиральних комбайнів як чинник збереження якості та кормової цінності картоплі 71

Заболотько О.О., Задорожній К.Р.
Екосистема управління «смарт» ферми 74

Заболотько О.О., Задорожній К.Р.
Огляд систем для охолодження молока в умовах фермерського господарства 76

Калнагуз О.М., Сіренко Ю.В.
Огляд автоматизованих систем контролю роботи сільськогосподарських машин у кормовиробництві 80

Кузьменко В.Ф., Субота С.В., Пономаренко О.В., Холодюк О.В., Онищенко Б.В.
До методики визначення вологості зразків трави в процесі дослідження сушіння в природніх умовах 83

Куликівський В.Л., Бережницький М.В.
Вплив технічного стану молочного насоса на продуктивність доїльної установки 87

Куликівський В.Л., Гришкун Д.П.
Особливості технологічного процесу озонової дезінсекції зерна92

Куликівський В.Л., Корпан І.В.
Вплив вологості рослинної сировини на ефективність її термовакуумного екструдування..... 98

Куликівський В.Л., Олішевський П.С.
Перспективні конструкції висівних апаратів для точного землеробства при вирощуванні кормових буряків..... 102

Куликівський В.Л., Хмельовський Р.А.
Застосування штучного інтелекту та робототехніки в сучасному сільському господарстві 107

Купчук І.М.
Концептуальні засади адаптивного керування процесом змішування кормових матеріалів 112

Медведський О.В.
Дослідження колектора доїльного апарата зі стимулюючим ефектом 115

Мельник В.І., Новицький А.В. Лісецький В.
Обґрунтування межі ефективності та технологічної надійності доїльно-охолоджувального обладнання в агроінженерних системах молочного скотарства 117

Міненко С.В., Гетьман В.О.
Якісний передпосівний обробіток ґрунту як основа ефективного виробництва кормів для тваринницької галузі 121

Потапова С.Є.
Dairy 4.0: цифрова трансформація молочного тваринництва .. 125

Потапова С.Є., Заболотько О.О.
Чому стандартні бокси шкодять продуктивності: досвід впровадження системи dreamstall..... 128

Ребенко В.І.
Моделювання високотехнологічних модулів для тваринництва131

Ребенко В.І.
Моделювання системи утримання корів на роботизованій фермі135

Руткевич В.С.
Перспективні напрями роботизації та автоматизації технологічних процесів у тваринництві 141

Савченко В.М., Антоненко Є.М.
Довговічність трибоспряжень як чинник підвищення ефективності машинно-технологічних систем у тваринництві 145

Савченко В.М., Савін Н.Л.
Шляхи зниження енерговитрат у технологічному процесі охолодження молока 150

Савченко В.М., Тисько Д.І.
Перспективи застосування аеробної ферментації для переробки побічної продукції аграрного виробництва 153

Савченко В.М., Шепель О.В.
Аналіз технічних параметрів робочих органів машин для внесення органомінеральних добрив 158

Семенцов В.В., Семенцов В.І., Волощук В.М.
Обладнання для підготовки матеріалу Для приготування рідких кормів в свинарстві 162

Твердохліб І.В., Ковальчук О.О., Борисюк Д.В.
Класифікація зернометачів..... 165

Хмельовський В.С.
Хмельовський В.С. Роботизовані кормові кухні та системи підгортання кормів 168

Холодюк О.В.
Цифрові технології в кормовиробництві 171

UDC 628.336.8:628.387

THEORETIKAL STUDIES OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGY FOR CREATING MICROCLIMATE ON FARMS

Achkevych O., Ph.D. Eng., achkevych@nubip.edu.ua
Romanchenko V., Ph.D. Eng., vromanchenko @nubip.edu.ua
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

The industrialization of agricultural production has made it a key consumer of fuel and energy resources, and consequently, the importance of energy-saving technologies has increased. This is particularly true for livestock farming, one of the most energy-intensive agricultural sectors. The urgency of the problem and the limited timeframe for its solution have determined the necessity and feasibility of leveraging positive international experience.

The theoretical calculations were based on the Agrovent system, which utilized well-known gas balance equations (carbon dioxide was chosen as a gas indicator) and moisture, as well as an energy balance equation developed taking into account the specific air treatment features of the Agrovent system.

The mixture (temperature t_n) is supplied into the room by a supply fan equipped with an air baffle in the form of multiple jets at a speed that ensures the required air exchange in the animal area. The ratio of fresh and exhaust air supply is selected such that the inequality

$$1^o C < t_m'' < t_{pc} \quad (1)$$

where t_{pc} is the dew point temperature.

The thermal power of each installation and the system as a whole was calculated separately for the supply (Q_x) and exhaust ($Q_т$) channels of the waste heat recovery unit:

$$Q_x = C_p G_x (t_x'' - t_x'); \quad (2)$$

$$Q_m = G_{exh} (J_m' - J_m''); \quad (3)$$

where G_x and G_{exh} – supply of outdoor and exhaust air, kg/s;

J_m'' and J_m' – enthalpy of exhaust air before and after the heat recovery unit, kJ/kg;

t_x'' and t_x' – outdoor air temperature before and after the heat recovery unit, °C;

C_p – specific heat capacity of air, kJ/(kg·°C).

The efficiency of heat recovery units as devices that heat fresh air is usually assessed by the coefficient ε_x efficiency calculated for cold air. For conditions where the water equivalent $W_m = C_p G_{exh}$ a flow of warm air greater than this value $W_m = C_p G_x$ for cold air, as observed in the Agrovent system,

$$\varepsilon_x = \frac{t_x'' - t_x'}{t_m' - t_x'} \tag{4}$$

A special feature of the heat engineering calculation for the Agrovent system, and in particular the saved thermal energy, is that part of the heat $Q_y=Q_x=Q_т$ is used to compensate for its loss by the recirculated air during its cooling in the heat recovery unit. Therefore, the usefully used heat (in the heat balance of the room)

$$Q_n = Q_y - C_p G_p (t_m' - t_m'') \tag{5}$$

and the annual energy savings provided by the system,

$$E = \sum_{i=t_{no}}^{t_{\min}} (Q_{hi} - Q_{ci}) T_i \tag{6}$$

where Q_{hi} – useful heat utilisation at the *i*-th outdoor air temperature, kW;

Q_{ci} – energy consumed by the system drives, kW;

T_i – duration of the i-th temperature in a year, hours.

Airflow imbalance $(K_\omega = W_m / W_x > 1)$ passing through the heating and cooling units of the Agrovant heat recovery system, justified by the calculation of air drying intensity. However, the optimisation of the ratio of water equivalents is of particular interest K_ω according to experimental studies.

This determined the presentation of dependencies $\varepsilon_x = f(t_x')$ for values $K_\omega = 1,75$ obtained by changing the nominal fresh and exhaust air flows.

Analysis of coefficient dependence ε_x efficiency of heat recovery from temperature t_x' outdoor air, shows that the coefficient of efficiency increases with an increase in K_ω and reaches values of 0.73...0.75 at $K_\omega = 2$ (fig. 3). It should be noted that the coefficient of efficiency ε_x for conditions $K_\omega > 1,5$ and $(t_m' - t_x') \approx 20...35^o C$ - the value is approximately constant, so it can be used as a technical characteristic of a heat recovery unit.

Inflection points of curves $\varepsilon_x = f(t_x')$ in the range $t_x' = -20...-35^o C$ correspond to the outside air temperatures at which the anti-icing protection is activated, causing the relief valve to open. With an increase in K_ω up to 2 recycler operations with maximum values ε_x lengthens, but at the same time, it follows that the amount of

useful heat used $Q_п$ in the temperature range $t'_x = -5...-20^oC$ on average 0.2...0.4 kW (for one installation) less than for values $K_ω = 1,85...1,95$.

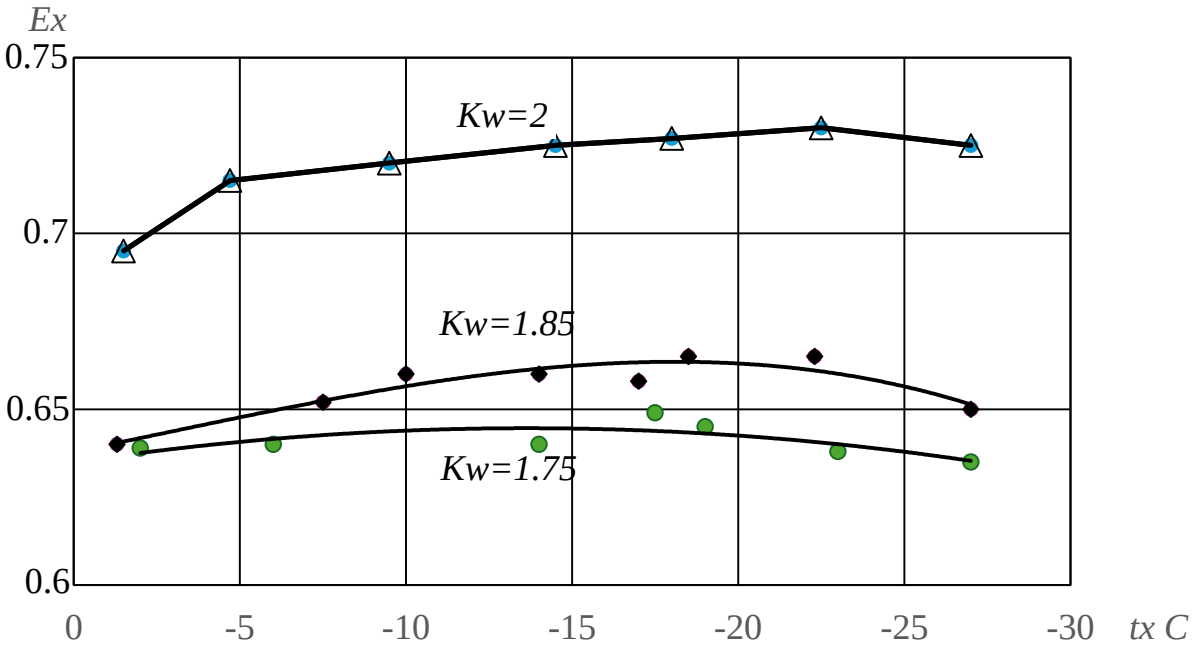

Figure 3. Relationship between the heat recovery unit's efficiency $ε_x$ and outdoor air temperature t'_x

Analysis of the dependence of useful heat Q_p utilisation and supply air temperature t_p at the entrance to the room on the ratio of water equivalents $K_ω$ extracted and outside air, it can be concluded that as the outside air temperature decreases and the room's heat demand increases accordingly, the Agrovent system provides an increase in the thermal power used to heat the supply air, the maximum of which is achieved when maintaining $K_ω$ in the range of 1.85...1.95. These values should be considered energetically optimal. The value obtained by calculation $K_ω$ adopted in the design of the Agrovent system is 1.87, i.e. close to the experimental value.

Heat recovery used $Q_п$ increases and at $t'_m = 11^oC$ and $t'_x = -23^oC$ reaches 12.4 kW per installation. In addition, the increase t'_m from 7 to 11°C shifts the activation temperature of the anti-icing protection from $t'_x = -16^oC$ to $t'_x = -23^oC$ and according to calculations at $t_в = 12^oC$ to $t'_x = -25^oC$.

The range of optimal temperatures tв will be further refined based on the results of additional studies. In particular, when testing the Agrovent system in a cowshed, it was found that the actual heat loss in the premises significantly

exceeds the calculated values, which is due to the large amount of air infiltration through leaks in the premises. Losses due to infiltration (or other means) were determined approximately based on the following data.

At $t_н$=-20°C and a corresponding calculated heat deficit of approximately 60 kW for t_v=12°C, even supplying 70 kW of heat to the room did not reliably maintain this temperature.

Thus, heat loss through air infiltration is not 10%, as is customary in design practice, but approximately 20%.

REFERENCES

1. S. Angrecka, P. Herbut, D. Godyń, and F. M. C. Vieira, “Dynamics of microclimate conditions in freestall barns during winter – A case study from Poland,” Journal of Ecological Engineering 21, 129–136 (2020). https://doi.org/10.12911/22998993/122235

2. S. Jhetam, T. Shynkaruk, K. Buchynski, A. G. Van Kessel, and T. G. Crowe, “Stocking density within chick transport boxes: Effects on leghorn chick stress and box microclimate,” Journal of Applied Poultry Research 33, 100400 (2024). https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100400

3. M. Trela, A. Januszewska, D. Kawecki, K. Kustra, and M. W. Lis, “A conventional hatchery vs. ‘on-farm’ hatching of ducks in terms of microclimatic conditions and hatchability parameters – Preliminary research,” Journal of Applied Poultry Research 34, 100612 (2025). https://doi.org/10.1016/j.japr.2025.100612

УДК 620.92:630*8:631.3

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ ЯК БІОСИРОВИНИ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Баденко А.С. доктор філософії, викладач-стажист,
andriybadenko55@gmail.com
Уманський національний університет

Сучасний розвиток тваринництва та кормовиробництва потребує підвищення енергоефективності, зниження собівартості продукції та пошуку альтернативних джерел енергії. Значна частина технологічних процесів потребує теплової та електричної енергії для опалення приміщень, підтримання мікроклімату, підігріву води, сушіння сировини та роботи кормоприготувального обладнання. Тому використання відновлюваної біосировини є перспективним напрямом енергозабезпечення агропромислових підприємств.

До деревної біомаси належать дрова, тріска, тирса, стружка, кора, гілки та порубкові рештки. Вона характеризується різною вологістю, фракційним складом і щільністю, що потребує відповідної технологічної підготовки.

Основними операціями підготовки деревної біомаси є збирання, сортування, подрібнення, транспортування, сушіння та ущільнення. Для подрібнення використовують рубальні машини, дробарки та інше спеціалізоване обладнання. Формування заданого фракційного складу забезпечує ефективне транспортування, дозування та спалювання біопалива. Вологість сировини безпосередньо впливає на її енергетичну цінність і витрати на сушіння, тому режим підготовки повинен відповідати характеристикам сировини та вимогам теплогенерувального обладнання.

Гранулювання та брикетування підвищують насипну щільність деревної біомаси, покращують умови її зберігання і транспортування та забезпечують стабільну подачу палива. Таке біопаливо може використовуватися в автоматизованих системах теплопостачання тваринницьких комплексів і кормовиробничих підприємств.

У тваринництві деревна біомаса може використовуватися для опалення приміщень, підігріву води та підтримання необхідних параметрів мікроклімату. У кормовиробництві її доцільно застосовувати для сушіння кормової сировини, підігріву води та забезпечення інших теплових потреб.

З позиції агроінженерії важливим є формування узгодженої машинно-технологічної системи **«заготівля – подрібнення – сушіння – транспортування – зберігання – теплогенерація»**. Продуктивність машин повинна бути узгоджена між собою, оскільки дисбаланс технологічного ланцюга може спричиняти простої та підвищувати собівартість біопалива.

Важливе значення має логістика деревної біомаси. За даними досліджень, частка логістичних витрат у загальній вартості постачання біомасового палива може становити **30–50 %**. Тому доцільною є локалізація первинної переробки сировини. Застосування мобільних подрібнювальних

установок у місцях заготівлі дозволяє транспортувати підготовлену біомасу та зменшувати логістичну складову її собівартості [1].

Основними техніко-економічними показниками технології є **питомі витрати на підготовку та транспортування біомаси** і **собівартість виробленої теплової енергії.** Вони залежать від продуктивності машин, вологості сировини, відстані транспортування, витрат пального та характеристик теплогенерувального обладнання.

Перспективним є створення локальних систем енергозабезпечення тваринницьких комплексів, що включають обладнання для подрібнення, сушіння, транспортування, зберігання та теплогенерації. Це дозволяє перетворювати деревні відходи на енергетичний ресурс для потреб агропромислового підприємства [2].

Використання деревної біомаси повинно здійснюватися з дотриманням принципів сталого ведення лісового господарства. Надмірне вилучення порубкових решток може негативно впливати на кругообіг поживних речовин і ґрунтові процеси, тому обсяги їх заготівлі необхідно визначати з урахуванням екологічних умов [3].

Отже, деревна біомаса є перспективною біосировиною для енергозабезпечення підприємств тваринництва та кормовиробництва. Її ефективне використання потребує комплексного застосування машин для заготівлі, подрібнення, сушіння, транспортування та ущільнення. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію параметрів технологічного обладнання та визначення техніко-економічної ефективності використання деревної біомаси.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Cambero, C., & Sowlati, T. (2014). Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives – A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 62-73. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.041

2. Eling, J., Okot, D.K., Menya, E., & Atim, M.R. (2024). Densification of raw and torrefied biomass: A review. *Biomass and Bioenergy*, 184, article number 107210. doi: 10.1016/j.biombioe.2024.107210

3. He, H., Wang, Y., Sun, Y., Sun, W., & Wu, K. (2024). From raw material powder to solid fuel pellet: A state-of-the-art review of biomass densification. *Biomass and Bioenergy*, 186, article number 107271. doi: 10.1016/j.biombioe.2024.107271

УДК 620.92:631.862:519.876

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У РЕАКТОРІ БІОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

Болтянський Б.В., к.т.н., доцент, **Болтянський О.Б.,** асистент
boris.boltianskyi@tsatu.edu.ua
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Для узагальнення експериментальних даних та прогнозування роботи реактора за умов, що виходять за межі безпосередньо дослідженого діапазону, передбачається розробка математичної моделі, яка поєднує кінетичний опис процесу анаеробного розкладання субстрату (на основі узагальнених результатів лабораторних досліджень) з рівнянням теплового балансу реактора. Кінетична складова моделі базуватиметься на системі диференціальних рівнянь, що описують послідовні стадії гідролізу, ацидогенезу і метаногенезу з урахуванням інгібувальних ефектів (закислення середовища, накопичення аміаку), параметри якої визначатимуться шляхом ідентифікації (підбору) за результатами лабораторних експериментів.

Теплова складова моделі описуватиме баланс теплоти в реакторі з урахуванням:

- теплоти, що вноситься підігрітим субстратом під час завантаження;
- теплоти, що підводиться від системи підігріву (теплообмінника, що використовує гарячу воду від когенераційної установки);
- тепловтрат через стінки, покрівлю і днище реактора в навколишнє середовище й ґрунт, розрахованих з урахуванням теплофізичних властивостей матеріалів конструкції та кліматичних даних регіону (температура повітря і ґрунту за місяцями року);
- тепловтрат з відхідним біогазом.

Розроблена теплова модель дозволить розрахувати необхідну потужність системи підігріву реактора для кожного місяця року з урахуванням фактичного кліматичного профілю регіону дослідження і оцінити частку енергії, виробленої комплексом, що витрачається на власні потреби підігріву, залежно від пори року, що є ключовим показником для обґрунтування техніко-економічної ефективності.

Верифікацію розробленої математичної моделі передбачається виконати шляхом порівняння розрахункових значень виходу біогазу й температурного режиму з результатами лабораторних дослідів у напівбезперервному режимі, а також (на завершальному етапі) з даними, отриманими під час натурних випробувань дослідно-промислової установки. Точність моделі оцінюватиметься за стандартними статистичними критеріями (середньоквадратична похибка, коефіцієнт детермінації між розрахунковими й експериментальними значеннями).

Верифікована модель у подальшому використовуватиметься як інструмент для обґрунтування раціональних параметрів комплексу (об’єм реактора, потужність системи підігріву, режим завантаження) для різних типорозмірів господарств і різних композицій субстратів без потреби у повторенні повного циклу натурних досліджень для кожного окремого випадку [1,2].

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

2. О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Б.В. Болтянський, В.Д. Акулов, О.С. Пушка. Математичне моделювання процесу накопичення метаноутворюючих мікроорганізмів в анаеробному біофільтрі. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. Ред. Д.т.н., проф. А.І. Панченко. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2026. Вип. 26, т. 2. С.156-164. https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-2-17 .

УДК 621.43:631.372:631.22

ОСОБЛИВОСТІ ОБКАТКИ ДВЗ МАЛОГАБАРИТНОЇ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ, ЯКА ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Борак К.В. д.т.н., професор, **Глушаниця О.В.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Сучасні технології виробництва продукції тваринництва передбачають широке використання малогабаритної автотракторної техніки для механізації операцій з роздавання кормів, видалення гною, транспортування матеріалів, обслуговування тваринницьких приміщень та виконання допоміжних технологічних операцій. Для таких машин характерні невеликі габаритні розміри, висока маневреність, часті зміни режимів роботи, багаторазові пуски двигуна протягом зміни та значна частка роботи на малих швидкостях і часткових навантаженнях. Зазначені особливості суттєво впливають на процес припрацювання деталей двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) після його виготовлення або ремонту.

Обкатка є початковим етапом експлуатації або післяремонтного використання двигуна, протягом якого відбувається взаємне припрацювання поверхонь тертя, зміна їх мікрогеометрії, формування фактичної площі контакту та стабілізація трибологічних характеристик спряжень. У роботі M. M. Khonsari, S. Ghatrehsamani та S. Akbarzadeh зазначено, що процес припрацювання характеризується взаємопов'язаними змінами шорсткості поверхонь, коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування, а умови, в яких проходить обкатка, визначають подальшу поведінку трибосистеми у сталому режимі експлуатації [1].

Особливо важливим процес припрацювання є для спряження «гільза циліндра – поршневі кільця». У початковий період роботи фактична площа контакту між поверхнями є відносно невеликою, внаслідок чого навантаження концентрується на вершинах мікронерівностей. У процесі обкатки відбувається їх поступове згладжування, збільшення площі контакту та формування сприятливих умов мащення. Експериментальними дослідженнями встановлено суттєвий вплив початкової шорсткості гільзи, температурного та навантажувального режимів на інтенсивність припрацювання поршневих кілець і циліндрів [2]. Моделювання процесу зношування поверхні циліндра також підтверджує, що в період обкатки поступова зміна мікрогеометрії поверхні супроводжується зменшенням втрат на тертя та стабілізацією умов мащення [3].

Для малогабаритної техніки, яка працює безпосередньо у тваринницьких приміщеннях, умови обкатки мають низку специфічних особливостей. Однією з головних є переважання короткочасних робочих циклів. Виконання операцій з підбирання, переміщення та роздавання кормів або прибирання приміщення часто потребує багаторазових пусків і

зупинок машини. Унаслідок цього двигун значну частину часу може працювати до досягнення стабільного теплового стану.

За низької температури деталей погіршуються умови утворення мастильної плівки, збільшується в'язкість мастильного матеріалу, а зазор між окремими елементами циліндро-поршневої групи відрізняється від розрахункового теплового стану. Особливо несприятливими є багаторазові холодні пуски у початковий період експлуатації. Тому процес обкатки малогабаритного двигуна доцільно організовувати таким чином, щоб після пуску забезпечувати його поступове прогрівання з подальшим переходом до регламентованого навантаження, не допускаючи різкого навантаження непрогрітого двигуна.

Водночас тривала обкатка двигуна виключно на холостому ходу також не може вважатися раціональною. Дослідження роботи дизельних двигунів при тривалих малих навантаженнях показують, що зниження температури та тиску в циліндрі може сприяти неповному згорянню палива, формуванню відкладень, забрудненню мастильного матеріалу і погіршенню стану поверхні гільзи [4]. Для двигунів малогабаритної техніки така проблема є особливо актуальною, оскільки технологічні операції всередині будівель нерідко виконуються при частковому завантаженні двигуна.

Отже, однією з основних вимог до обкатки є чергування швидкісних і навантажувальних режимів із поступовим збільшенням навантаження, а не тривала робота з постійною частотою обертання колінчастого вала та мінімальним навантаженням. Початкові режими повинні забезпечувати формування мастильної плівки та поступове припрацювання мікронерівностей, тоді як наступні етапи мають створювати достатній тиск газів на поршневі кільця для їх ефективного притискання до поверхні гільзи.

Експериментальні дослідження спряження «поршневе кільце – гільза циліндра» підтверджують залежність якості припрацювання від швидкості ковзання, навантаження, характеру поверхні та умов мащення. Зокрема, C. Miao, Z. Guo та C. Yuan встановили, що зміна характеристик поверхні суттєво впливає на коефіцієнт тертя, контактну взаємодію та зношування в період обкатки [5].

Іншою характерною особливістю експлуатації малогабаритної техніки в тваринницьких приміщеннях є специфічний склад навколишнього повітря. Повітря таких приміщень містить значну кількість органічного пилу, частинок кормів, підстилки, шерсті, мікроорганізмів та інших аерозолів. За результатами аналізу наукових досліджень, концентрація

твердих частинок у тваринницьких приміщеннях залежить від виду тварин, способу годівлі, типу утримання, системи вентиляції та технологічних операцій [6].

Важливим газоподібним компонентом повітря тваринницьких приміщень є аміак. Його концентрація визначається видом тварин, способом утримання, температурою, вологістю, вентиляцією та технологією видалення гною [7]. Дослідження тваринницьких будівель показали наявність аміаку в приміщеннях для утримання великої рогатої худоби, свиней та птиці, причому його концентрації можуть суттєво відрізнятися залежно від технологічних умов [7].

Для ДВЗ забруднене повітря має особливе значення саме в період обкатки, коли поверхні тертя є найбільш чутливими до потрапляння сторонніх частинок. T. Dziubak та S. D. Dziubak встановили, що тверді частинки, які проходять через систему очищення повітря, можуть проникати до зони контакту «поршень – поршневі кільця – циліндр» та разом із мастильним матеріалом формувати абразивне середовище. Це призводить до прискореного зношування гільз, кілець і підшипникових вузлів [8].

З огляду на це під час обкатки двигунів техніки, призначеної для роботи у тваринницьких приміщеннях, доцільно приділяти підвищену увагу герметичності впускного тракту і технічному стану повітроочисника. Забруднення фільтрувального елемента збільшує опір впуску і погіршує наповнення циліндрів. Експериментальні дослідження дизелів тракторів показують, що збільшення опору повітряного фільтра супроводжується зменшенням потужності та крутного моменту й одночасним зростанням витрати палива та викидів окремих шкідливих компонентів [9]. Тому контроль забрудненості фільтра під час обкатки повинен бути більш жорстким, ніж за експлуатації техніки в умовах чистого навколишнього повітря.

Не менш важливим є недопущення потрапляння частинок продуктів зношування у мастильну систему. У процесі первинного припрацювання кількість продуктів зношування є вищою порівняно зі сталим періодом експлуатації [1, 3]. Тому після завершення регламентованого етапу обкатки доцільно виконувати обслуговування системи мащення відповідно до вимог виробника або ремонтної технології, включаючи контроль стану мастильного матеріалу та фільтрувальних елементів.

Аналіз наукової інформації дозволяє запропонувати раціональну схему обкатки ДВЗ малогабаритної автотракторної техніки, що експлуатується у тваринницьких приміщеннях. Перший етап повинен виконуватися в контрольованих умовах із прогріванням двигуна та роботою без різких змін частоти обертання і навантаження. Другий етап передбачає поступове збільшення навантаження з чергуванням швидкісних режимів для забезпечення рівномірного припрацювання поверхонь. Третій етап доцільно проводити під робочим навантаженням, близьким до характерного для технологічних операцій конкретної машини, але без тривалого перевантаження і тривалих режимів холостого ходу.

Під час зазначених етапів необхідно контролювати температуру охолоджувальної рідини й мастильного матеріалу, тиск у системі мащення, частоту обертання колінчастого вала, характер димності відпрацьованих газів, стабільність роботи двигуна, наявність сторонніх шумів та герметичність систем. За можливості до системи контролю доцільно включити оцінювання тиску картерних газів, витрати палива та параметрів відпрацьованих газів. Стабілізація цих показників разом зі стабілізацією теплового режиму може використовуватися як додаткова ознака завершення інтенсивного етапу припрацювання.

Окремою вимогою є організація відведення відпрацьованих газів. Проведення тривалої технологічної обкатки безпосередньо в зоні утримання тварин є небажаним. Первинний етап післяремонтної або заводської обкатки доцільніше проводити на спеціалізованій ділянці, а в тваринницькому приміщенні виконувати лише експлуатаційне припрацювання під час реальних технологічних операцій за умови належної вентиляції та відведення відпрацьованих газів.

Таким чином, особливість обкатки ДВЗ малогабаритної автотракторної техніки, яка використовується у тваринницьких приміщеннях, полягає у необхідності одночасного врахування трибологічних процесів припрацювання та специфічних умов експлуатаційного середовища. До найбільш значущих негативних факторів належать часті пуски, тривалі режими малих навантажень, нестабільний тепловий режим, підвищена запиленість повітря та наявність газових забруднень. Мінімізація їх впливу потребує застосування ступінчастої програми навантаження, обмеження тривалої роботи на холостому ходу, ефективного очищення впускного повітря, своєчасного обслуговування

системи мащення та постійного контролю теплових і експлуатаційних параметрів двигуна.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення адаптивної технології безгальмівної обкатки малогабаритних ДВЗ, за якої тривалість і величина навантажувальних режимів визначатимуться не лише за часом роботи двигуна, а й за фактичною стабілізацією його температурних, енергетичних і трибологічних параметрів. Доцільним також є дослідження впливу ступеня забрудненості повітря тваринницького приміщення на інтенсивність припрацювання та зношування циліндро-поршневої групи.

Список використаних джерел

1. Khonsari M. M., Ghatrehsamani S., Akbarzadeh S. On the running-in nature of metallic tribo-components: A review. Wear. 2021. Vol. 474–475. Art. 203871. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203871. URL: https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203871 (дата звернення: 04.10.2026).

2. Sreenath A. V., Raman N. Running-in wear of a compression ignition engine: Factors influencing the conformance between cylinder liner and piston rings. Wear. 1976. Vol. 38, No. 2. P. 271–289. DOI: 10.1016/0043-1648(76)90076-4. URL: https://doi.org/10.1016/0043-1648(76)90076-4 (дата звернення: 04.10.2026).

3. Gu C., Wang R., Tian T. Modeling the fatigue wear of the cylinder liner in internal combustion engines during the break-in period and its impact on piston ring lubrication. Lubricants. 2019. Vol. 7, No. 10. Art. 89. DOI: 10.3390/lubricants7100089. URL: https://doi.org/10.3390/lubricants7100089 (дата звернення: 04.10.2026).

4. Issa M., Ibrahim H., Hosni H., Ilinca A., Rezkallah M. Effects of low charge and environmental conditions on diesel generators operation. Eng. 2020. Vol. 1, No. 2. P. 137–152. DOI: 10.3390/eng1020009. URL: https://doi.org/10.3390/eng1020009 (дата звернення: 04.10.2026).

5. Miao C., Guo Z., Yuan C. Tribological behavior of co-textured cylinder liner-piston ring during running-in. Friction. 2022. Vol. 10. P. 878–890. DOI: 10.1007/s40544-021-0499-z. URL: https://doi.org/10.1007/s40544-021-0499-z (дата звернення: 04.10.2026).

6. Cambra-López M., Aarnink A. J. A., Zhao Y., Calvet S., Torres A. G. Airborne particulate matter from livestock production systems: A review of an air pollution problem. Environmental Pollution. 2010. Vol. 158, No. 1. P. 1–17. DOI:

10.1016/j.envpol.2009.07.011. URL: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.07.011 (дата звернення: 04.10.2026).

7. Groot Koerkamp P. W. G., Metz J. H. M., Uenk G. H. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. Journal of Agricultural Engineering Research. 1998. Vol. 70, No. 1. P. 79–95. DOI: 10.1006/jaer.1998.0275. URL: https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0275 (дата звернення: 04.10.2026).

8. Dziubak T., Dziubak S. D. A study on the effect of inlet air pollution on the engine component wear and operation. Energies. 2022. Vol. 15, No. 3. Art. 1182. DOI: 10.3390/en15031182. URL: https://doi.org/10.3390/en15031182 (дата звернення: 04.10.2026).

9. Akal D., Selvi İ. Effects of clogged air filter on power, torque, fuel consumption and emissions of diesel engines in tractors. Petroleum Science and Technology. 2023. Vol. 41, No. 24. P. 2419–2433. DOI: 10.1080/10916466.2023.2230248. URL: https://doi.org/10.1080/10916466.2023.2230248 (дата звернення: 04.10.2026).

УДК 631.365

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МОДУЛЬНОЇ СУШАРКИ

Борак К.В. д.т.н., професор, **Іщенко Т.С.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Сушіння зерна є одним із найбільш енергоємних технологічних процесів післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції. Ефективність роботи зерносушильного обладнання визначається не лише кількістю видаленої вологи, а й продуктивністю сушарки, питомими витратами енергії, рівномірністю сушіння та збереженням якісних показників зерна. Серед основних керованих технологічних параметрів конвективного сушіння найбільший вплив мають температура, швидкість і витрата сушильного агента, початкова вологість зерна, товщина зернового

шару та тривалість його перебування в зоні сушіння [1, 2]. Сучасні дослідження підтверджують, що температура і швидкість повітря безпосередньо впливають на інтенсивність тепло- та масообміну між сушильним агентом і зерновим матеріалом.

Для модульних сушарок питання вибору раціонального поєднання температури та швидкості сушильного агента має особливе значення. Модульність конструкції дає можливість змінювати продуктивність обладнання шляхом нарощування сушильних секцій, проте фактична пропускна здатність кожного модуля значною мірою визначається режимом роботи вентиляційно-теплової системи. Тому підвищення продуктивності сушарки лише шляхом збільшення температури або витрати повітря не завжди є технологічно та енергетично обґрунтованим.

Метою роботи є встановлення основних закономірностей впливу температури та швидкості сушильного агента на інтенсивність видалення вологи і продуктивність модульної зерносушарки та визначення передумов для вибору раціонального режиму її роботи.

Процес конвективного сушіння ґрунтується на одночасному перенесенні теплоти від нагрітого повітря до поверхні зернівки та переміщенні вологи з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні з подальшим відведенням водяної пари потоком сушильного агента. Інтенсивність підведення теплоти в спрощеному вигляді можна представити залежністю:

$$\dot{Q} = \alpha F(T_a - T_{(g)}), \quad (1)$$

де $\dot{Q}$ – тепловий потік, Вт; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); F – площа поверхні теплообміну, м²; T_a – температура сушильного агента, °С; $T_{(g)}$ – температура зерна, °С.

Зі збільшенням температури сушильного агента зростає температурний напір $T_a - T_{(g)}$, збільшується кількість теплоти, що надходить до зерна, прискорюється випаровування води і зростає коефіцієнт ефективної дифузії вологи. Унаслідок цього скорочується тривалість сушіння, а за незмінної місткості сушильної камери зростає її продуктивність [1, 3]. У термодинамічному дослідженні зерносушарок встановлено, що серед початкової вологості, швидкості повітря та температури сушіння саме температура була найбільш впливовим параметром у дослідженому інтервалі 50–90 °С [3].

Продуктивність сушарки за масою зерна може бути визначена як:

$$Q_{(g)} = M_{(g)} / \tau, \quad (2)$$

де $Q_{(g)}$ – продуктивність сушарки, т/год; $M_{(g)}$ – маса висушеного зерна, т; τ – тривалість процесу, год.

Отже, за інших однакових умов зменшення тривалості перебування матеріалу в сушарці без погіршення його якості безпосередньо забезпечує збільшення продуктивності. Однак підвищення температури має технологічну межу. Надмірний температурний напір спричиняє значні градієнти температури та вологості між поверхневими і внутрішніми шарами зернівки, що може викликати утворення мікротріщин, зниження схожості насіннєвого матеріалу, зміну кольору та погіршення технологічних властивостей зерна [1, 4].

Експериментальне дослідження сушіння кукурудзи у сушарці змішаного потоку за температур 60, 70 і 80 °C та швидкостей сушильного агента 3, 6 і 9 м/с показало, що підвищення температури істотно скорочувало тривалість процесу. Ефективна вологопровідність при цьому змінювалася в межах $4{,}92 \cdot 10^{-7}$–$8{,}38 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Водночас підвищення температури супроводжувалося більш вираженою зміною колірних характеристик зерна, що підтверджує необхідність пошуку компромісу між максимальною продуктивністю і збереженням якості продукції [4].

Другим визначальним параметром є швидкість сушильного агента. Збільшення швидкості повітря підвищує число Рейнольдса, зменшує товщину приграничного шару біля поверхні зерна та сприяє збільшенню коефіцієнтів конвективного тепло- і масообміну. Об’ємна витрата агента сушіння визначається залежністю:

$$L = vA, \tag{3}$$

де L – об’ємна витрата повітря, м³/с; v – його середня швидкість, м/с; A – площа живого перерізу повітряного каналу, м².

Відповідно, збільшення швидкості за незмінного перерізу забезпечує подачу більшої кількості нагрітого повітря до зернового шару та швидше відведення насиченого вологою агента. Це особливо важливо на початкових стадіях сушіння, коли інтенсивність видалення вологи найбільша [1, 2].

Разом з тим залежність інтенсивності сушіння від швидкості повітря не є лінійною в усьому діапазоні. Після досягнення певного рівня подальше збільшення швидкості дає незначний приріст швидкості вологовидалення, оскільки лімітуючим фактором стає не зовнішній масообмін, а переміщення вологи з центральних шарів зернівки до її поверхні. За результатами досліджень сушіння кукурудзи збільшення швидкості повітря з 3 до 6 м/с помітно скорочувало тривалість сушіння, тоді як подальше підвищення до

9 м/с уже мало незначний вплив на тривалість процесу [4]. Це свідчить про існування раціонального діапазону швидкості сушильного агента, перевищення якого не забезпечує пропорційного підвищення продуктивності.

Важливим аргументом на користь оптимізації, а не максимізації швидкості повітря є енергетичні витрати на роботу вентиляторів. Зі збільшенням витрати та аеродинамічного опору зернового шару зростає необхідна потужність вентиляційної системи. Тому режим із максимально можливою швидкістю агента може забезпечувати лише невелике додаткове скорочення часу сушіння за суттєвого збільшення споживання електроенергії. Сучасні дослідження зерносушильних установок розглядають регулювання повітряного потоку як один із найбільш перспективних способів підвищення їх енергоефективності [5, 6, 9].

Це підтверджується результатами T. Jokiniemi та J. Ahokas, які досліджували регулювання температури й витрати повітря в сушарці змішаного потоку. Керування повітряним потоком у процесі сушіння забезпечило економію енергії близько 5 % для ячменю та 14 % для вівса. Одночасно інтенсивність випаровування вологи збільшилася відповідно приблизно на 5 і 17 % [5]. Отже, продуктивність зерносушарки може бути підвищена не максимальним повітрообміном, а його адаптивним регулюванням залежно від поточної вологості зерна.

Особливий інтерес для дослідження модульних сушарок становлять результати експлуатації зерносушарки Saphir 2134 в умовах України. Під час сушіння кукурудзи при температурі 65 °C від початкової вологості 21 % до кінцевої 13,5 % за 23 год було висушено 295 т зерна. Фактична продуктивність установки становила 12,83 т/год, а продуктивність за видаленням вологи – близько 96,2 т·%/год [7]. Ці результати підтверджують можливість забезпечення значної пропускної здатності модульної установки за помірного температурного режиму та стабільного рівномірного подавання сушильного агента.

Для об’єктивного порівняння різних режимів роботи доцільно поряд із масовою продуктивністю $Q_{(g)}$ застосовувати показник продуктивності за видаленою вологою:

$$Q_{(w)} = Q_{(g)}(W_1 - W_2), \quad (4)$$

де $Q_{(w)}$ – умовна продуктивність за видаленням вологи, т·%/год; W_1 і W_2 – відповідно початкова та кінцева вологість зерна, %.

Такий показник дає змогу коректніше порівнювати режими сушіння,

оскільки однакова продуктивність у тоннах за різної початкової вологості не означає однакової інтенсивності роботи сушарки.

На основі аналізу наукових результатів залежність продуктивності модульної сушарки від температури T та швидкості v сушильного агента можна узагальнено подати у вигляді:

$$Q = f(T, v, W_1, h, \tau, \varphi), \quad (5)$$

де h – товщина зернового шару; φ – відносна вологість сушильного агента. При цьому частинні залежності $\partial Q/\partial T$ і $\partial Q/\partial v$ є додатними лише до певної технологічно раціональної області. Після досягнення критичного рівня швидкості повітря приріст продуктивності зменшується, а після перевищення допустимої температури обмежувальним критерієм стає якість зерна.

Таким чином, для модульної сушарки доцільно застосовувати не постійний максимально інтенсивний, а диференційований режим сушіння. На початковій стадії, коли зерно має високу вологість і спроможне інтенсивно віддавати воду, доцільним є збільшення подачі сушильного агента. У міру зниження вологості ефективність подальшого нарощування швидкості повітря зменшується, тому її доцільно знижувати, одночасно підтримуючи температуру на технологічно допустимому рівні. Такий алгоритм може забезпечити підвищення пропускної здатності установки зі зменшенням питомих енерговитрат. Дослідження сучасних сушильних систем також вказують на перспективність автоматичного керування температурою, повітряним потоком та вологістю зерна в режимі реального часу [6, 8, 9].

Температура сушильного агента є одним із найбільш впливових параметрів продуктивності модульної сушарки. Її підвищення збільшує температурний потенціал теплообміну, ефективну вологопровідність матеріалу та швидкість випаровування води, завдяки чому скорочується тривалість сушіння і зростає пропускна здатність обладнання. Водночас допустиме підвищення температури обмежується вимогами щодо якості зерна.

Підвищення швидкості сушильного агента найбільше впливає на процес у зоні малих і середніх швидкостей. Після досягнення певного критичного значення подальше збільшення повітряного потоку не забезпечує пропорційного скорочення тривалості сушіння, але супроводжується зростанням витрат енергії на вентиляцію. Для кукурудзи в умовах експериментальної сушарки змішаного потоку істотний ефект

спостерігався при збільшенні швидкості від 3 до 6 м/с, тоді як підвищення від 6 до 9 м/с мало значно менший вплив [4].

Отже, основним напрямом підвищення продуктивності модульної сушарки має бути комплексна оптимізація температури і швидкості сушильного агента, а не максимізація кожного параметра окремо. Перспективним є використання автоматизованого диференційованого керування повітряним потоком відповідно до поточної вологості зерна, температури відпрацьованого агента та інтенсивності вологовидалення.

Список використаних джерел

1. Jimoh K. A., Hashim N., Shamsudin R., Che Man H., Jahari M., Onwude D. I. Recent Advances in the Drying Process of Grains. Food Engineering Reviews. 2023. Vol. 15. P. 548–576. DOI: 10.1007/s12393-023-09333-7.

2. Handbook of Industrial Drying / ed. by A. S. Mujumdar. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2015. 1348 p.

3. Amantéa R. P., Fortes M., Ferreira W. R., Santos G. T. Energy and exergy efficiencies as design criteria for grain dryers. Drying Technology. 2018. Vol. 36, No. 4. P. 491–507. DOI: 10.1080/07373937.2017.1409232.

4. Mondal M. H. T., Akhtaruzzaman M., Sarker M. S. H. Modeling of dehydration and color degradation kinetics of maize grain for mixed flow dryer. Journal of Agriculture and Food Research. 2022. Vol. 9. Art. 100359. DOI: 10.1016/j.jafr.2022.100359.

5. Jokiniemi T., Ahokas J. Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer. Biosystems Engineering. 2014. Vol. 121. P. 209–220. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.01.002.

6. Mondal M. H. T., Sarker M. S. H. Comprehensive energy analysis and environmental sustainability of industrial grain drying. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024. Vol. 199. Art. 114442. DOI: 10.1016/j.rser.2024.114442.

7. Gorbenko O., Lapenko H., Lapenko T., Kolotii S. Determination on energy efficiency in corn grain drying. Technology Audit and Production Reserves. 2025. Vol. 2, No. 1(82). P. 45–49. DOI: 10.15587/2706-5448.2025.326080.

8. Yu P., Zhu W., Shen C., Qiao Y., Zhang W., Zhu Y., Gong J., Cai J. Current Status of Grain Drying Technology and Equipment Development: A Review. Foods. 2025. Vol. 14, No. 14. Art. 2426. DOI: 10.3390/foods14142426.

9. An J., Xie H., Yan J., Wei H., Wu Y., Liao X. A review of applications

of energy analysis: Grain, fruit and vegetable drying technology. Energy Reports. 2024. Vol. 12. P. 5482–5506. DOI: 10.1016/j.egyr.2024.11.037.

УДК 631.3:636.085

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ҐРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА КОРМІВ

Борак К.В. д.т.н., професор, **Корінчук Д.В.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Стабільне функціонування тваринницької галузі значною мірою залежить від своєчасного формування достатньої та якісної кормової бази. Виробництво кормів являє собою комплекс взаємопов’язаних технологічних операцій, починаючи з підготовки ґрунту та сівби кормових культур і закінчуючи їх збиранням, заготівлею, зберіганням та підготовкою до згодовування. Порушення строків виконання однієї з початкових технологічних операцій може впливати на подальший перебіг усього виробничого циклу. Особливого значення при цьому набуває експлуатаційна надійність ґрунтообробної техніки, оскільки основний та передпосівний обробіток ґрунту здійснюються в обмежені агротехнічні строки.

Ґрунтообробні машини експлуатуються в умовах значних та змінних механічних навантажень. Величина сил опору робочим органам залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, його вологості, щільності, швидкості руху агрегату, глибини обробітку та конструктивних параметрів робочих органів. Дослідження надійності ґрунтообробних машин свідчать, що випадковий характер горизонтальних і вертикальних навантажень необхідно враховувати вже на етапі їх проєктування, оскільки він безпосередньо пов’язаний з імовірністю виникнення відмов елементів машин [1].

У процесі експлуатації плугів, дискових борін, культиваторів, глибокорозпушувачів та комбінованих ґрунтообробних агрегатів

інтенсивному зношуванню піддаються лемеші, диски, лапи культиваторів, підшипникові вузли та інші елементи, які безпосередньо контактують із ґрунтом або передають значні навантаження. Відомі дослідження експлуатаційної надійності ґрунтообробної техніки підтверджують, що відмови дисків, дискових батарей і підшипникових вузлів можуть суттєво знижувати фактичну ефективність використання машин порівняно з їх потенційними технічними можливостями [2].

Експлуатаційну надійність ґрунтообробної техніки доцільно оцінювати комплексом показників: імовірністю безвідмовної роботи, середнім напрацюванням на відмову, інтенсивністю відмов, середньою тривалістю відновлення працездатності, коефіцієнтом готовності та коефіцієнтом технічного використання. З погляду забезпечення стабільності кормовиробництва особливе значення має коефіцієнт готовності машини:

$$K_г = T_р / (T_р + T_в), \quad (1)$$

де $T_р$ – тривалість працездатного стану машини;

$T_в$ – тривалість її відновлення після виникнення відмови.

Зменшення коефіцієнта готовності безпосередньо скорочує час продуктивної роботи машинно-тракторного агрегату. Фактичну експлуатаційну продуктивність ґрунтообробного агрегату спрощено можна представити залежністю:

$$W_е = W_т \cdot K_г, \quad (2)$$

де $W_е$ – експлуатаційна продуктивність агрегату;

$W_т$ –технічна продуктивність;

$K_г$ – коефіцієнт готовності.

Таким чином, навіть за високої конструктивної продуктивності машини зниження її технічної готовності через часті відмови та тривалі ремонти призводить до зменшення фактичного обсягу робіт, виконаного за одиницю часу.

Наслідки недостатньої надійності ґрунтообробної техніки для кормовиробництва мають системний характер. Виникнення відмови під час основного або передпосівного обробітку спричиняє простій агрегату, зміщення строків завершення підготовки ґрунту та, відповідно, строків сівби кормових культур. За несприятливих погодних умов навіть відносно нетривалий технічний простій може призвести до втрати частини оптимального агротехнічного періоду. У результаті порушується ритмічність проведення польових робіт, збільшується ризик нерівномірного

формування посівів та ускладнюється планування наступних технологічних операцій.

Для тваринницьких підприємств ця проблема набуває додаткового значення, оскільки нестабільність виробництва кормових культур може спричиняти коливання обсягів сформованої кормової бази. Надійність окремої машини в такому разі необхідно розглядати не лише як її технічну характеристику, а як складову надійності всієї технологічної системи виробництва кормів. Аналогічний системний підхід застосовується і при дослідженні машин для підготовки та роздавання кормів, для яких показники напрацювання на відмову й тривалості відновлення визначають ефективність виконання технологічного процесу [3].

Особливо небезпечними є відмови ґрунтообробної техніки в періоди максимального сезонного завантаження. Якщо господарство має обмежену кількість агрегатів, вихід з ладу одного з них збільшує навантаження на справні машини. Це, у свою чергу, призводить до збільшення добового напрацювання, прискорення зношування деталей і підвищення ймовірності наступних відмов. Формується своєрідний ланцюговий ефект, за якого локальна технічна несправність може трансформуватися у відставання від установленого технологічного графіка.

Для кількісної оцінки такого впливу доцільно враховувати сумарну тривалість простоїв техніки:

$$\Delta T = \Sigma t_i, \tag{3}$$

де t_i – тривалість усунення і-ї відмови.

Тоді потенційно невиконаний через технічні простої обсяг ґрунтообробних робіт можна орієнтовно визначити як:

$$\Delta S = W_e \cdot \Delta T, \tag{4}$$

де ΔS – площа, яка не була оброблена в запланований період;

W_e – експлуатаційна продуктивність агрегату;

ΔT – сумарний час простоїв.

Зазначена залежність показує, що вплив надійності найбільш відчутний для високопродуктивних агрегатів і в умовах жорстко обмежених агротехнічних строків. Чим більшою є добова потреба господарства у виконанні ґрунтообробних робіт, тим вищими можуть бути технологічні наслідки кожної години простою.

Підвищення експлуатаційної надійності ґрунтообробної техніки повинно передбачати комплекс взаємопов’язаних заходів. До них належать своєчасне технічне обслуговування, контроль стану робочих органів і

підшипникових вузлів, прогнозування залишкового ресурсу найбільш навантажених деталей, забезпечення господарства необхідним запасом швидкозношуваних елементів, скорочення часу діагностування та ремонту, а також застосування зносостійких матеріалів і технологій зміцнення робочих поверхонь. Системне технічне обслуговування та використання нормативів працездатності сільськогосподарських машин є важливими складовими підвищення ефективності їх експлуатації [4].

Перспективним напрямом є перехід від переважно реактивного принципу обслуговування, за якого ремонт виконується після відмови, до обслуговування за фактичним технічним станом. Використання засобів контролю вібрації, температури підшипникових вузлів, параметрів навантаження та напрацювання дозволяє раніше виявляти розвиток несправностей і планувати технічні втручання у періоди, коли вони найменше впливають на виконання польових робіт. Сучасні дослідження систем діагностування сільськогосподарської техніки також акцентують увагу на переході до прогнозування несправностей та проактивного технічного обслуговування.

Таким чином, експлуатаційна надійність ґрунтообробної техніки є одним із важливих технічних чинників стабільності кормовиробництва. Відмови машин не обмежуються безпосередніми витратами на ремонт, а спричиняють технологічні простої, зниження фактичної продуктивності агрегатів, порушення агротехнічних строків та зростання ризику невиконання запланованих обсягів виробництва кормових культур. Підвищення безвідмовності, ремонтопридатності та технічної готовності ґрунтообробної техніки дає можливість забезпечити ритмічність польових робіт, більш повне використання агротехнічних строків і створити передумови для стабільного забезпечення тваринницької галузі кормовими ресурсами.

Список використаних джерел

1. Abo Al-Kheer A., El-Hami A., Kharmanda G., Mouazen A. M. Reliability-based design for soil tillage machines. Journal of Terramechanics. 2011. Vol. 48, No. 1. P. 57–64. DOI: 10.1016/j.jterra.2010.06.001.

2. Olaoye J. O., Adekanye T. A. A survey of reliability of tillage equipment in Osun State, Nigeria. Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management. 2015. Vol. 8, No. 1. P. 1–12. DOI: 10.4314/ejesm.v8i1.1.

3. Novitskiy A., Banniy O., Novitskyi Yu., Antal M. A study of mixer-

feeder equipment operational reliability. Machinery & Energetics. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 101–110. DOI: 10.31548/machinery/4.2023.101.

4. Роговський І. Л. Розробка комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.05.11. Київ : Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2021. 56 с.

5. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

УДК 636.085.52

ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНТЕЙНЕРА НА ПРОЦЕС СИЛОСУВАННЯ КОРМІВ

Борак К.В. д.т.н., професор, **Нєлепін І.О.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Силосування є одним із найбільш поширених способів консервування зелених кормів, який ґрунтується на створенні анаеробних умов та розвитку молочнокислого бродіння. Ефективність цього процесу значною мірою визначається не лише фізико-механічними й біохімічними властивостями вихідної рослинної маси, але й конструктивними та технологічними характеристиками обладнання, що використовується для її зберігання. Основними умовами одержання якісного силосу є швидке формування анаеробного середовища, достатня щільність кормової маси та мінімізація надходження повітря впродовж усього періоду зберігання [1–3].

Перспективним напрямом удосконалення технології заготівлі кормів є використання герметичних контейнерів, які дають можливість формувати окремі порції корму, забезпечувати контрольовані умови ферментації та

зменшувати втрати поживних речовин під час зберігання і використання силосу. Особливого значення при цьому набуває обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів контейнера, які безпосередньо впливають на ступінь ущільнення кормової маси, швидкість видалення повітря, герметичність та стабільність перебігу процесу силосування.

Основними конструкційними параметрами контейнера для силосування кормів слід вважати його місткість, геометричну форму, співвідношення висоти до площі поперечного перерізу, товщину й жорсткість стінок, матеріал виготовлення, конструкцію завантажувального отвору, ущільнювальних елементів і пристроїв для герметизації. До технологічних параметрів належать ступінь заповнення контейнера, щільність укладання кормової маси, інтенсивність її ущільнення, тривалість завантаження та герметизації, ступінь подрібнення рослинної сировини, її вологість, а у разі застосування вакуумування – величина створюваного розрідження.

Одним із визначальних показників є щільність закладання кормової маси, яку можна представити залежністю

$$\rho = m / V, \quad (1)$$

де ρ – середня щільність кормової маси, кг/м³; m – маса корму в контейнері, кг; V – об’єм, зайнятий кормовою масою, м³.

Підвищення щільності корму сприяє зменшенню об’єму повітряних пор між частинками рослинної маси. До початку анаеробного бродіння кисень, який залишається у поровому просторі, підтримує дихання рослинних клітин та активність аеробної мікрофлори, що супроводжується споживанням легкорозчинних вуглеводів і втратами сухої речовини. Тому зменшення пористості кормового моноліту є одним із найважливіших завдань конструкції контейнера та технології його завантаження. Дослідження процесів силосування підтверджують, що зі збільшенням щільності та зменшенням пористості знижується інтенсивність проникнення кисню в силосовану масу [1, 3].

У загальному вигляді частку газонаповнених пор можна характеризувати коефіцієнтом пористості

$$\varepsilon = V_n / V, \quad (2)$$

де ε – пористість кормового моноліту; V_n – сумарний об’єм пор, заповнених газом, м³; V – загальний об’єм кормової маси, м³.

Таким чином, технологічно доцільним є забезпечення максимально можливого значення ρ за одночасного зменшення ε, але без надмірного механічного руйнування рослинної сировини та інтенсивного виділення

клітинного соку.

Важливим параметром є геометрія контейнера. Зі збільшенням його висоти зростає статичний тиск верхніх шарів корму на нижні, що сприяє їх додатковому ущільненню. Водночас надмірне збільшення висоти за недостатньої жорсткості конструкції може призводити до деформації стінок та утворення локальних зон із пониженою щільністю. У зв'язку з цим співвідношення висоти, ширини або діаметра контейнера необхідно визначати з урахуванням фізико-механічних властивостей кормової маси та способу її ущільнення.

Для контейнерів із гнучкими герметичними оболонками перспективним є застосування вакуумування. У цьому випадку зовнішній атмосферний тиск створює додаткове навантаження на кормовий моноліт та забезпечує його ущільнення по всій поверхні. Дослідження технологій силосування в герметичних плівкових контейнерах показують, що вакуумна обробка сприяє формуванню щільного поверхневого шару кормової маси та обмежує переміщення повітря всередину контейнера [4].

Не менш важливим конструкційним параметром є герметичність контейнера. Навіть за високої початкової щільності кормової маси проникнення атмосферного повітря через нещільності з'єднань, завантажувальний отвір або матеріал оболонки може стати причиною активізації дріжджів і пліснявих грибів, нагрівання силосу та втрат сухої речовини. Тому матеріал стінок або оболонки повинен характеризуватися низькою газопроникністю, достатньою механічною міцністю та стійкістю до пошкоджень у процесі завантаження, транспортування і зберігання. Герметизація повинна здійснюватися відразу після закінчення завантаження й ущільнення корму [2, 4].

На ефективність використання об'єму контейнера істотно впливає ступінь подрібнення кормової маси. Подрібнення полегшує укладання та ущільнення сировини, сприяє швидшому витісненню повітря і формуванню анаеробного середовища. Необхідний ступінь подрібнення залежить від виду та вологості рослинної сировини; надмірно груба маса ущільнюється гірше, тоді як надто дрібне подрібнення може негативно впливати на структурні властивості корму [2].

Умовно ефективність процесу силосування в контейнері можна представити функціональною залежністю

$$Ec = f(V_c, H/D, \rho, \varepsilon, \delta, P, W, l, t_г), \quad (3)$$

де Ec – показник ефективності силосування; Vc – місткість контейнера; H/D – співвідношення основних геометричних параметрів

контейнера; ρ – щільність кормової маси; ε – її пористість; δ – параметри стінки або герметичної оболонки; P – тиск ущільнення або величина вакуумного розрідження; W – вологість сировини; l – середній розмір частинок корму; tr – тривалість від завершення завантаження до повної герметизації.

З наведеної залежності видно, що конструктивні й технологічні фактори необхідно розглядати комплексно. Наприклад, збільшення місткості контейнера без відповідної зміни способу ущільнення може призводити до нерівномірного розподілу щільності. Аналогічно, використання високогерметичної оболонки не забезпечить необхідної якості силосу за надмірної пористості кормової маси або тривалого перебування її у контакті з повітрям до герметизації.

Для інженерного обґрунтування параметрів контейнера доцільно використовувати як основні критерії оптимізації максимальну середню щільність кормового моноліту, мінімальну нерівномірність розподілу щільності за об’ємом, мінімальну пористість, мінімальну проникність конструкції для кисню та скорочення тривалості завантаження і герметизації. За даними оглядових досліджень, щільність та пористість силосу є ключовими фізичними параметрами, які визначають швидкість проникнення кисню та подальшу аеробну стабільність корму. Для традиційних силосних сховищ у науковій літературі як орієнтир наводиться щільність сухої речовини близько 210 кг/м³ і пористість не більше 0,4; конкретні раціональні значення для контейнерної технології мають уточнюватися експериментально залежно від виду кормової сировини та конструкції контейнера [3].

Отже, конструкція контейнера для силосування повинна забезпечувати не лише розміщення заданого об’єму корму, а й створювати необхідні фізичні умови для швидкого переходу від аеробної до анаеробної фази процесу. Найбільш суттєвий вплив мають геометричні параметри контейнера, міцність і газонепроникність його оболонки, спосіб герметизації, щільність та рівномірність ущільнення кормової маси. Раціональне поєднання зазначених параметрів дозволяє зменшити кількість залишкового повітря, обмежити повторне надходження кисню, стабілізувати молочнокисле бродіння та створити передумови для зниження втрат сухої речовини і збереження поживної цінності корму. Подальші дослідження доцільно спрямувати на встановлення експериментальних залежностей між геометричними параметрами контейнера, величиною ущільнювального навантаження, щільністю кормового моноліту та

показниками якості готового силосу з метою визначення раціональних параметрів конструкції.

Список використаних джерел

1. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R. J., Holmes B. J., Muck R. E. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, No. 5. P. 3952–3979. DOI: 10.3168/jds.2017-13837.

2. Jianxin L., Jun G. Ensiling crop residues. FAO: Crop Residues Based Densified Total Mixed Ration. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

3. Wilkinson J. M., Davies D. R. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. Grass and Forage Science. 2013. Vol. 68, No. 1. P. 1–19. DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x.

4. Nekrashevich V., Mamonov R., Torzhenova T., Vorobyova I., Khazimov M. Theory and practice of feed silage in containers made of airtight film. 2020.

5. Буцяк В. І., Кравців Р. Й., Колотницький А. Г., Буцяк Г. А. Біотехнологія заготівлі силосу : навчальний посібник. Львів : Тріада плюс, 2008. 126 с.

УДК 631.372

ОПТИМІЗАЦІЯ ТИСКУ ПОВІТРЯ В ШИНАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

Борак К.В. д.т.н., професор, **Фролова О.М.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів є одним із важливих напрямів зниження енергоємності сільськогосподарського виробництва. Значна частина потужності двигуна трактора під час виконання польових технологічних операцій витрачається на подолання опору коченню, буксування рушіїв і деформацію ґрунту.

Одним із параметрів, який суттєво впливає на характер взаємодії колісного рушія з опорною поверхнею, є тиск повітря в шинах.

Тиск у шинах визначає їхню радіальну деформацію, розміри та форму плями контакту з ґрунтом, розподіл контактних напружень і, як наслідок, тягово-зчіпні властивості трактора. Надмірно високий тиск призводить до зменшення площі контакту шини з поверхнею, підвищення питомого тиску на ґрунт, збільшення буксування та інтенсивності ущільнення верхніх шарів ґрунту. Водночас надмірне зниження тиску без урахування навантаження на колесо, швидкості руху та конструктивних особливостей шини може викликати надмірну деформацію боковин, нагрівання каркаса, погіршення керованості та зменшення ресурсу шини. Тому під оптимальним слід розуміти не мінімально можливий, а раціональний тиск, який відповідає фактичному навантаженню на колесо та умовам виконання технологічної операції.

Метою дослідження є аналіз закономірностей впливу тиску повітря в шинах сільськогосподарського трактора на його тягово-енергетичні показники та ущільнення ґрунту і визначення основних принципів вибору раціонального тиску під час виконання польових робіт.

Середній тиск рушія на ґрунт у спрощеному вигляді можна оцінити залежністю

$$q = G_k / A_k, \quad (1)$$

де q – середній тиск на ґрунт, кПа; G_k – вертикальне навантаження на колесо, Н; A_k – площа контакту шини з ґрунтом, м².

Зі зниженням тиску повітря радіальна деформація шини збільшується, внаслідок чого зростає довжина та площа плями контакту. Вертикальне навантаження при цьому розподіляється на більшу площу. Одночасно збільшується кількість ґрунтозачепів, які беруть участь у передачі дотичної сили, що створює передумови для підвищення тягового зусилля та зменшення буксування.

Експериментальні дослідження A. Battiato та E. Diserens показали істотний вплив тиску в шинах на тягові характеристики трактора з механічним приводом переднього моста. Під час випробувань порівнювали режими роботи за тиску 60 і 160 кПа. Зниження тиску забезпечувало збільшення сили тяги та покращення коефіцієнта зчеплення, тягового ККД, ефективності передачі потужності та питомої витрати палива [1]. Таким чином, регулювання тиску може бути ефективнішим способом покращення тягових характеристик, ніж просте збільшення баластування трактора.

Важливим показником ефективності взаємодії рушія з ґрунтом є буксування ведучих коліс. За недостатньої площі контакту частина енергії двигуна витрачається не на переміщення агрегату, а на зсув і руйнування ґрунту. Надмірне буксування спричиняє зниження робочої швидкості та продуктивності, збільшення витрати палива і порушення структури орного шару. Для більшості тягових польових операцій доцільно забезпечувати буксування приблизно в межах 5–15 %, хоча його раціональне значення залежить від механічних властивостей ґрунту, навантаження і конструкції рушія [3].

Дослідження J. Serrano та співавторів свідчать, що завищений тиск у шинах може значно погіршувати експлуатаційні показники машинно-тракторного агрегату. У польових дослідах порівнювали рекомендовані виробниками режими та підвищений тиск до 190 кПа. Використання підвищеного тиску супроводжувалося зниженням продуктивності приблизно на 3–5 % та збільшенням витрати палива на гектар на 10–25 %, навіть за відносно сприятливих умов зчеплення [2]. Це підтверджує економічну доцільність коригування тиску відповідно до умов роботи, а не використання одного постійного значення для транспортних і польових операцій.

Особливого значення правильний вибір тиску набуває для тракторів із механічним приводом переднього ведучого моста. Зміна тиску змінює деформацію передніх і задніх шин, їх динамічні радіуси та співвідношення фактичних колових швидкостей коліс. За даними A. Čiplienė та співавторів, відповідне поєднання тиску в передніх і задніх шинах, яке забезпечувало близько 2 % випередження передніх ведучих коліс, дозволило зменшити годинну витрату палива на 2,5–3,0 %, а витрату палива на гектар – на 3,5–4,0 % порівняно з режимом, за якого тиск у передніх і задніх шинах не був оптимально узгоджений [3].

Поряд з енергетичними показниками тиск повітря в шинах безпосередньо визначає техногенний вплив тракторів на ґрунт. У класичних дослідженнях J. Arvidsson і S. Ristic випробовували чотири типи тракторних шин за тиску, що становив 67, 100 і 150 % рекомендованого значення. Зростання тиску призводило до збільшення глибини колії, опору проникненню та механічних напружень у ґрунті на глибинах 20 і 40 см. Автори також встановили, що переваги широкопрофільних шин щодо зниження ущільнення значною мірою реалізуються саме тоді, коли їх конструкція використовується для роботи зі зниженим тиском [4].

Сучасні польові дослідження підтверджують ці закономірності. A. Vanderhasselt та співавтори порівнювали роботу тракторних шин при тиску 200 кПа, рекомендованому для дорожнього руху, та польових значеннях 140 і 100 кПа. Зниження тиску сприяло зменшенню контактних і нормальних напружень у ґрунті. Використання шин типу VF за тиску 100 кПа забезпечувало найбільш виражений ефект. У варіанті зі зниженням тиску від 200 до 100 кПа спостерігалося також збільшення врожайності сухої речовини цукрових буряків у колії приблизно на 11 %, хоча вплив тиску на витрату палива в конкретних умовах досліду був статистично незначним [5]. Ці результати підтверджують, що ефективність зниження тиску залежить не лише від самої величини тиску, але й від типу шини, вологості та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Особливо важливим є врахування вологості ґрунту. Під час руху важких агрегатів по перезволоженому ґрунту його несуча здатність зменшується, а механічні напруження поширюються на більшу глибину. Тому зниження тиску в шинах не може повністю компенсувати негативний вплив надмірного навантаження на вологий ґрунт. Оптимізація параметрів колісного рушія повинна поєднувати регулювання тиску, раціональне баластування, обмеження осьового навантаження і правильний вибір строків виконання технологічних операцій.

За результатами досліджень O. Ayetan та співавторів, проведених на суглинкових і супіщаних ґрунтах, застосування шин зі зниженим тиском забезпечило зменшення пікових напружень на глибині 15 см приблизно на 40 % порівняно з шинами з підвищеним тиском. При цьому задні колеса, які сприймали більше вертикальне навантаження, створювали на 30–70 % більші напруження, ніж передні. Це свідчить про необхідність одночасної оптимізації двох взаємопов’язаних параметрів – тиску в шині та вертикального навантаження на колесо [6].

Результати досліджень 2026 року R. Fanigliulo та співавторів також показали, що зниження тиску в шинах у допустимих межах збільшує площу контакту рушія з ґрунтом, забезпечує більш рівномірний розподіл навантаження, покращує тягову ефективність та зменшує негативний вплив на структуру ґрунту. Під час польових випробувань порівнювали режими підвищеного тиску до 1,6 bar на задній осі та зниженого тиску близько 1,0 bar. Найбільші переваги низького тиску були отримані при використанні сучасної конструкції сільськогосподарської шини зі збільшеною плямою контакту [7].

Таким чином, оптимізацію тиску повітря в шинах доцільно здійснювати за комплексним критерієм, який може бути представлений у загальному вигляді:

$$P_{opt} = f(G_k, v, \delta, W, T, K_t), \quad (2)$$

де P_{opt} – оптимальний тиск повітря в шині; G_k – вертикальне навантаження на колесо; v – швидкість руху; δ – буксування; W – вологість ґрунту; T – тип та механічні властивості ґрунту; K_t – конструктивні характеристики шини.

Для польових тягових операцій доцільно використовувати мінімальний тиск, допустимий виробником конкретної шини для фактичного навантаження та швидкості руху. При переході до транспортних робіт на дорогах із твердим покриттям тиск необхідно підвищувати відповідно до таблиць «навантаження – тиск – швидкість» виробника. Такий підхід дозволяє уникнути ситуації, коли тиск, прийнятний для дорожнього транспортування, залишається надмірно високим під час польової роботи.

Перспективним напрямом є використання централізованих систем регулювання тиску в шинах, які дають можливість змінювати його безпосередньо з кабіни трактора. При виїзді з дороги на поле система може знижувати тиск, збільшуючи площу контакту і тягові властивості рушія, а після завершення польових робіт – підвищувати його для руху на транспортній швидкості. Особливо актуальним є поєднання таких систем із датчиками навантаження, буксування та параметрів ґрунту, що створює передумови для автоматичного вибору тиску в рамках технологій точного землеробства.

Отже, тиск повітря в шинах є одним із найбільш доступних для оперативного регулювання параметрів сільськогосподарського трактора. Зниження тиску до обґрунтованого для конкретного навантаження рівня збільшує площу контакту шини з ґрунтом, покращує тягово-зчіпні властивості, зменшує буксування і втрати енергії, а також сприяє зниженню ущільнення ґрунту. Водночас оптимальне значення тиску не може бути універсальним. Воно повинно визначатися з урахуванням навантаження на колесо, типу та розміру шини, швидкості руху, вологості й механічних властивостей ґрунту та характеру технологічної операції. Найбільш перспективним напрямом підвищення ефективності колісних тракторів є впровадження автоматизованого регулювання тиску з окремими режимами для польових і транспортних робіт.

Список використаних джерел

1. Battiato A., Diserens E. Influence of Tyre Inflation Pressure and Wheel Load on the Traction Performance of a 65 kW MFWD Tractor on a Cohesive Soil. Journal of Agricultural Science. 2013. Vol. 5, No. 8. P. 197–215. DOI: 10.5539/jas.v5n8p197.

2. Serrano J. M., Peça J. O., Silva J. R., Márquez L. The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance. Biosystems Engineering. 2009. Vol. 102, No. 1. P. 51–62. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.10.001.

3. Čiplienė A., Gurevičius P., Janulevičius A., Damanauskas V. Experimental validation of tyre inflation pressure model to reduce fuel consumption during soil tillage. Biosystems Engineering. 2019. Vol. 186. P. 45–59. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.06.023.

4. Arvidsson J., Ristic S. Soil stress and compaction effects for four tractor tyres. Journal of Terramechanics. 1996. Vol. 33, No. 5. P. 223–232. DOI: 10.1016/S0022-4898(97)00006-2.

5. Vanderhasselt A., D'Hose T., Sneyders M., Cornelis W. Effects of road- vs. field-recommended tyre inflation pressures and small variations in soil moisture content on traffic-induced soil compaction during seedbed preparation. Soil and Tillage Research. 2024. Vol. 241. Article 106109. DOI: 10.1016/j.still.2024.106109.

6. Ayetan O., Gillespie A. W., Heck R. J., Barrie A., McDonald I., Munkholm L. J. A case study demonstrating the impact of tire inflation pressure and soil management practices on stress and compaction in agricultural soils. Soil Science Society of America Journal. 2026. Vol. 90, No. 1. Article e70200. DOI: 10.1002/saj2.70200.

7. Fanigliulo R., Pochi D., Grilli R., Benigni S., Scutaru D., Fornaciari L. Comparative Tests of Two Tire Models for Agricultural Tractors: Soil Compaction, Tractive Performance and Energy Requirements. Environments. 2026. Vol. 13, No. 3. Article 150. DOI: 10.3390/environments13030150.

УДК 631.363.2:636.085.55

КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО МЛИНА З ОБЕРТОВОЮ КАМЕРОЮ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ

Волинець Є., PhD з галузевого машинобудування
evgen110596@gmail.com
Вінницький національний аграрний університет

Подрібнення зернових компонентів корму визначає їхню крупність перед змішуванням і подальшим використанням. Технологічний результат оцінюють за часткою фракції, потрібної для конкретної рецептури, та витратами енергії на її одержання. За зміни виду сировини, її вологості й міцності фіксований режим помелу не завжди забезпечує однаковий гранулометричний склад. Це зумовлює потребу в млині, в якому можна незалежно змінювати два механізми руху мелючих тіл.

Мета роботи. Обґрунтувати конструктивну схему вібраційного млина з обертовою помольною камерою для підготовки концентрованих кормів і визначити показники, за якими перевіряють дію спільного вібраційного та обертального впливу.

За основу взято схему з циліндричною помольною камерою, закріпленою в підшипникових вузлах на стійках коливального корпуса (рис. 1). Корпус спирається на пружні елементи, а дебалансний віброзбуджувач приводиться окремим електродвигуном. Обертання камери навколо горизонтальної осі забезпечує другий електродвигун через муфту та відкриту зубчасту передачу. У камері розміщено металеві мелючі тіла; для завантаження і вивантаження передбачено люк. Таким чином, частоту збудження коливань і частоту обертання камери можна задавати незалежно. Конструкцію подано на рівні принципової схеми; числові показники роботи потребують перевірки на дослідному зразку.

Коливальний рух передається від корпуса через стійки до камери та завантажених у неї частинок. Незалежне обертання камери періодично переорієнтовує шар матеріалу відносно зони дії мелючих тіл. Така кінематика створює передумови для зміни просторового розподілу контактів; ступінь її впливу на рівномірність помелу та питомі витрати електроенергії визначають експериментально. На відміну від тороподібної

камери відомого вібраційного млина [1], запропонована схема використовує обертання циліндричної камери як окремий керований фактор.

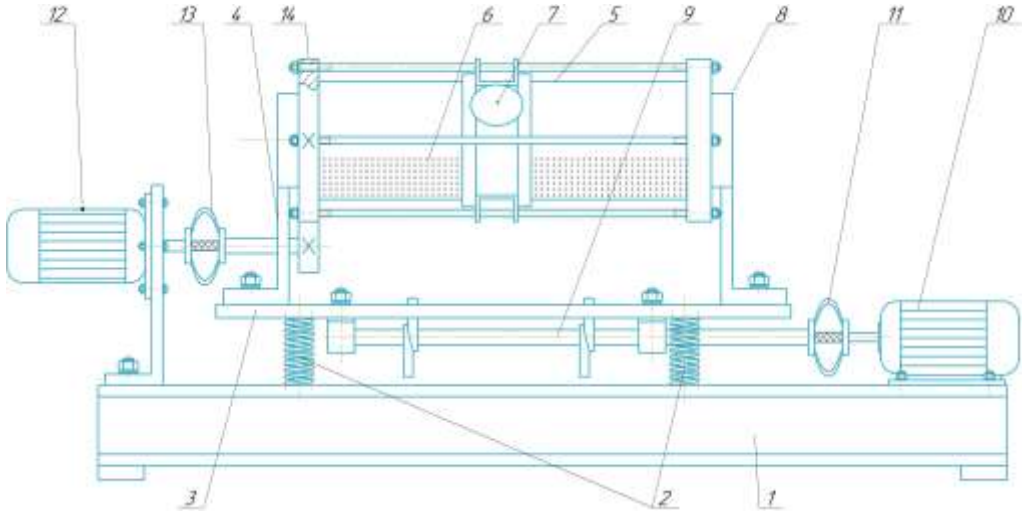

Рисунок 1 – Принципова схема вібраційного млина з обертовою камерою
1 – станина; 2 – пружні елементи; 3 – корпус; 4 – стійки; 5 – помольна камера; 6 – мелючі тіла; 7 – люк; 8 – підшипникові вузли; 9 – дебаланс; 10, 12 – електродвигуни; 11, 13 – муфти; 14 – відкрита зубчаста передача.

Для перевірки впливу кожного фактора доцільно порівняти три режими: вібрація без обертання камери, обертання без вібрації та їх одночасна дія. За кожного режиму зберігають сталими вид і початкову вологість зерна, масу завантаження, масу мелючих тіл та вихідну крупність. Окремо змінюють частоту коливань, амплітуду й частоту обертання камери. Після кожного циклу проводять ситовий аналіз продукту, реєструють тривалість і потужність обох приводів. Питому витрату електроенергії визначають відношенням спожитої за цикл електроенергії до маси обробленої партії. Режими коректно порівнювати за однакової цільової частки придатної фракції [2].

Для роботи із зерновими та бобовими кормовими компонентами додатково контролюють нагрівання продукту, зношування мелючих тіл і можливе потрапляння металевих частинок у помел [3]. Через розміщення зубчастої передачі між приводом і камерою необхідно перевірити сталість зачеплення під час коливань та динамічні навантаження на підшипники. Отримані вимірювання дадуть змогу встановити діапазон режимів, у якому досягається потрібна крупність за прийнятних енерговитрат і без порушення вимог до якості корму.

Для технічної оцінки конструкції доцільно виконувати повторні

цикли з однаковою масою партії та порівнювати не лише середню крупність, а й вихід надто дрібної фракції. Холосту потужність кожного привода реєструють окремо від повної потужності під навантаженням. Це дає змогу виявити режим, у якому додаткове обертання камери збільшує витрати енергії без помітного приросту потрібної фракції. Дані щодо зношування кульок та зубчастої передачі потрібні також для оцінювання технічного обслуговування млина під час роботи з різними партіями кормової сировини.

Висновки. Поєднання вібраційного збудження з незалежним обертанням циліндричної камери дає змогу досліджувати два керовані фактори подрібнення в одному млині. Запропонована методика відокремлює внесок кожного руху та задає критерії оцінювання: цільова фракція, продуктивність, питомі витрати електроенергії, нагрівання і зношування. Переваги конструкції для приготування концентрованих кормів слід встановити порівняльними випробуваннями.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Янович В. П., Солона О. В., Сосновська Л. В. Вібраційний млин: пат. на корисну модель № 129643 Україна, МПК B02C 17/00, B02C 17/24; № u 2018 03982; заявл. 12.04.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. № 21.

2. Kaletnik G., Solona O., Yaropud V. Recommendations for designing an adaptive vibrating mill in concentrated feed preparation technology. Vibrations in Engineering and Technology. 2023. № 1(108). P. 5–15.

3. Solona O., Kupchuk I. Development of a functional model of a vibrating mill with adaptive control system of mode parameters. У кн.: Modernization of Research Area: National Prospects and European Practices. Riga: Baltija Publishing, 2022. P. 302–328.

УДК 633.2. 031/033

ЕСПАРЦЕТ – ВИСОКОЕФЕКТИВНА ТА ЦІННА КУЛЬТУРА ДЛЯ ГОДІВЛІ ТВАРИН

Гайденко О. М., учений секретар, канд. техн. наук, с. н. с.,
Інститут сільського господарства Степу НААН;
Чипляка С. П., агроном

У системі оптимізації кормової бази та забезпечення безперервного інноваційного процесу в тваринництві особливе значення має диверсифікація структури кормових угідь через залучення високобілкових фітоценозів. **Еспарцет (Onobrychis) постає як високоефективна та цінна культура для годівлі тварин**, що відзначається збалансованим амінокислотним складом, високим умістом перетравного протеїну, каротину та мінеральних речовин. На відміну від інших бобових трав, згодовування еспарцету в свіжому вигляді не викликає у жуйних тварин тимпанії сичуга, що суттєво знижує технологічні ризики та оптимізує затрати виробничих ресурсів у скотарстві. Окрім високих кормових переваг, зазначена культура характеризується глибокою кореневою системою, посухостійкістю та біоадаптивністю до умов ризикованого землеробства Степу України, виступаючи важливим екологічним стабілізатором у короткоротаційних сівозмінах.

У структурі польового кормовиробництва підзони Північного Степу України еспарцет (Onobrychis) займає одну з провідних позицій завдяки високому екологічному та зоотехнічному потенціалу. Культура характеризується широкою екологічною пластичністю та невибагливістю до едафічних умов, забезпечуючи стабільну вегетацію на всіх типах ґрунтів, крім кислих (pH < 6.0). Еспарцет має високу солевитривалість, а завдяки інтенсивній екскудації органічних кислот кореневою системою здатний мобілізувати важкодоступні форми поживних речовин, що дозволяє вирощувати його на малопродуктивних, кам’янистих та щебенистих субстратах. Біохімічний скринінг кормової маси засвідчив її преміальну поживність: вміст перетравного протеїну в 1 кг зеленої маси становить 106 г, а в одній кормовій одиниці – 196 г. Фітомаса еспарцету збагачена есенціальними мікроелементами та вітамінами, зокрема концентрація каротину досягає 65 мг/кг. Оптимальний цукрово-протеїновий коефіцієнт запобігає розвитку тимпанії у жуйних тварин під час пасовищного

утримання за умов підвищеної вологості. Сортовою особливістю культури порівняно з іншими багаторічними бобовими травами є висока акумуляція розчинних вуглеводів (до 60 г/кг цукру) та аскорбінової кислоти (до 228 мг/кг вітаміну С) [1].

Агротехнічний потенціал еспарцету дозволяє диверсифікувати схеми його залучення до польових, кормових та зерно-кормових сівозмін, а в сумішах із багаторічними злаковими компонентами – використовувати як дієвий інструмент докорінного поліпшення природних кормових угідь. У межах біоінтенсифікації польових сівозмін Степу обґрунтовано доцільність культивування еспарцету як парозаймаючої культури з однорічним одноукісним циклом використання. На другому році вегетації (у фазу першого укосу) посіви забезпечують високий валовий збір високобілкового корму, рано звільняючи площу (кінець травня – початок червimplementedня). Завдяки потужній азотфіксації та біологічній меліорації едафотопу еспарцет оптимізує гідротермічний і поживний режими ґрунту під наступні культури. Це створює оптимальний агрофон для отримання дружніх сходів озимини, інтенсифікує початковий ріст рослин та детермінує формування високої врожайності пшениці озимої з покращеними показниками якості зерна (вмістом сирого протеїну та клейковини). При цьому базовим чинником реалізації генетичного потенціалу є сортовий підбір: наразі ІСГС НААН до Державного реєстру сортів рослин України внесено 3 профільні сорти еспарцету, адаптовані та рекомендовані для умов степової зони.

Смарагд. У Державному реєстрі сортів рослин України з 2007 року. Рекомендований для вирощування в зонах Степу і Лісостепу України. Сорт належить до піщаного виду. Кущ прямостоячий, кущистість середня, висота рослин 100 – 120 см. Стебла середньої грубості, на половину виповнені, слабо опушені. Кількість міжвузлів 7 – 9. Колір вузлів зелений. Листки середньої величини широкоовальні з тупою верхівкою, слабо опушені, темно-зеленого кольору в нижньому і світло-зеленого в верхніх ярусах. Суцвіття – веретеноподібної форми, середньої щільності. Квіти рожеві, боби світло-коричневі, середньої величини, слабо озброєні зубцями.

Сорт середньопізньостиглий, посухостійкий, зимостійкий, слабо уражується хворобами. Облистненість рослин 55 %. Вміст протеїну 17,9 – 18,8 %. Маса 1000 насінин 19 – 22 г. Урожайність зеленої маси – 35,0 т/га, повітряно-сухої речовини – 7,97 т/га, насіння – 1,0 – 1,1 т/га.

Вегас. У Державному реєстрі сортів рослин України з 2015 року. Рекомендовані зони вирощування – Степ та Лісостеп України. Сорт належить до піщаного виду. Кущ напівпрямостоячий, кущистість середня, при суцільній сівбі на одну рослину припадає 3 – 8 стебел, висота рослин 90 – 110 см. Стебла середньої грубості, наполовину виповнені, слабо опушені. Кількість міжвузлів 5 – 9. Колір вузлів зелений. Листки складні, непарноперисті. Дольки листка широколанцентні з притупленою верхівкою, з нижньої сторони мають слабке сіре опушення. Забарвлення листків у нижньому ярусі темно-зелене, у верхньому – світло-зелене.

Суцвіття – середня китиця циліндричної форми, середньої щільності. Квітки середні за розміром, рожеві. Одночасно в суцвітті від 3 до 9 квітучих квітів. Фази цвітіння та дозрівання проходять дружно, не розтягнуті в часі. Боби середні та середньо великі за розміром, з невеликими шипами по спинному шву (слабоозброєні). Колір бобів світло-коричневий. Насіння зеленувато-буре, квасолеподібної форми.

Сорт середньостиглий, посухостійкий, зимостійкий, слабо уражується хворобами. Облистненість рослин 55 – 56 %. Вміст протеїну 20,0 – 21,0 %. Маса 1000 насінин 20 – 23 г. Урожайність зеленої маси – 34,0 – 36,0 т/га, повітряно-сухої речовини – 8,0 – 8,5 т/га, насіння – 0,8-1,0 т/га.

Арсей. У Державному реєстрі сортів рослин України з 2021 року. Відноситься до піщаного виду. Кущ прямостоячий, кущистість середня, висота рослин 100 – 120 см. Стебла середньої грубості, наполовину виповнені, слабоопушені. Кількість міжвузлів 7 – 9. Колір вузлів зелений. Листки складні, непарноперисті. Дольки листка ланцентні і широколанцентні з притупленою верхівкою з нижньої сторони мають слабке сіре опушення. Забарвлення листків темно-зеленого кольору в нижньому і світло-зеленого в верхньому ярусах.

Суцвіття – китиця веретеноподібної форми, середньої довжини та щільності. Квітки середні за розміром, рожеві. Одночасно квітучих квітів в суцвітті 4 – 6 до 8. Боби середні за розміром з невеликими шипами по спинному шву (слабо-озброєні). Колір бобів світло-коричневий. Маса 1000 бобиків 18 – 20 г.

Рослини сорту Арсей розвиваються по типу ярових культур. При весняній, безпокривній, широкорядній сівбі вони цвітуть і плодоносять в перший рік життя. При цьому урожай насіння складає 0,2 – 0,4 т/га, а на другий і на послідуючі роки життя він досягає 1,0 – 1,4 т/га. Сорт практично одноукісний. При сприятливих умовах зволоження ґрунту в другій половині

літа урожай зеленої маси в другому укосі складає 40 – 60 % до першого. Сорт середньопізньостиглий, рослини зимостійкі, посухостійкі, слабо уражуються хворобами. Облистяність рослин 51 – 53 %. Вміст протеїну в сухій речовині 17-19 %. Урожайність зеленої маси – 35,0 – 37,0 т/га, повітряно-сухої речовини – 8,0 – 8,3 т/га, насіння – 0,8 – 1,2 до 1,4 т/га.

Висновки. На основі проведеного дослідження обґрунтовано високу еколого-агротехнічну та зоотехнічну доцільність розширення посівних площ еспарцету (*Onobrychis*) в умовах ризикованого землеробства підзони Північного Степу України.

1. Доведено, що дана культура володіє унікальною екологічною пластичністю, солевитривалістю та здатністю мобілізувати важкодоступні форми поживних речовин на малопродуктивних едафотопах, де інші бобові трави не формують стабільних урожаїв.

2. Біохімічний скринінг підтвердив преміальну якість фітомаси: вміст перетравного протеїну в 1 кг зеленої маси становить 106 г (196 г в одній кормовій одиниці) за високої концентрації каротину (65 мг/кг), розчинних вуглеводів (до 60 г/кг) та вітаміну С (до 228 мг/кг). Оптимальний цукрово-протеїновий коефіцієнт повністю нівелює ризик виникнення тимпанії у жуйних тварин під час пасовищного утримання.

3. Установлено високу синергетичну роль еспарцету в біоінтенсифікації короткоротаційних сівозмін як парозаймаючої культури. Раннє звільнення поля (кінець травня – початок червня) у поєднанні з потужною біологічною азотфіксацією оптимізує агрофон під озимий клин, що гарантує суттєве підвищення врожайності пшениці озимої та покращення технологічних показників якості зерна (вмісту білка й сирої клейковини). Для досягнення максимального ефекту виробництву рекомендовано використовувати 3 профільні сорти еспарцету, занесені до Державного реєстру сортів рослин України для зони Степу.

Список використаних джерел:

1. Гайденко О. М. Еспарцет – основа кормозабезпечення для годівлі тварин / О. М. Гайденко, С. П. Чипляка // Матеріали VII-ї Науково-технічної конференції “Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві” : Глеваха-Київ, 2019. – С. 19 – 22. Режим доступу: http://animal-conf.inf.ua/tezy.conf.7.pdf

УДК 35.21:631.563

ВПЛИВ МІСТКОСТІ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ КОНТЕЙНЕРА НА ПРИРОДНІ ВТРАТИ КАРТОПЛІ ПРИ ЗБЕРІГАННІ

Грудовий Р.С. к.т.н., доцент, **Писов В.С.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Зберігання картоплі є важливою складовою технологічного процесу її виробництва, оскільки протягом тривалого періоду після збирання в бульбах продовжуються фізіологічні та біохімічні процеси. Навіть за дотримання рекомендованих температурно-вологісних режимів повністю уникнути природних втрат маси неможливо. Їх величина залежить від сорту, фізіологічного стану бульб, ступеня їх стиглості та механічного пошкодження, температури, відносної вологості, тривалості зберігання, інтенсивності повітрообміну та конструктивних особливостей сховища [1, 2].

Під природними втратами картоплі розуміють передусім зменшення маси бульб унаслідок випаровування вологи та витрачання органічних речовин у процесі дихання. Сучасними дослідженнями встановлено, що основною складовою втрати маси є транспірація. За умов тривалого зберігання дефіцит тиску водяної пари між поверхнею бульби та навколишнім повітрям є одним із визначальних чинників зневоднення картоплі, тоді як частка дихання у загальній втраті маси є істотно меншою [6]. Тому конструкція тари, яка визначає умови руху повітря навколо бульб, безпосередньо впливає на інтенсивність природних втрат.

Перспективним способом механізованого зберігання картоплі є використання контейнерів. Порівняно з навальним способом вони спрощують завантаження та розвантаження сховищ, забезпечують можливість роздільного зберігання партій продукції та створюють передумови для кращого керування повітрообміном. Водночас контейнер необхідно розглядати не лише як транспортно-складську одиницю, а і як складову системи тепломасообміну «бульби – повітря – конструкція контейнера – середовище картоплесховища».

Одними з основних параметрів контейнера є його довжина L, ширина B, висота H та внутрішній корисний об’єм V:

$$V = L \cdot B \cdot H. \quad (1)$$

При відомій насипній щільності картоплі ρн орієнтовна місткість контейнера може бути визначена залежністю:

$$M = \rho_н \cdot V, \quad (2)$$

де M – маса картоплі в контейнері, кг; $\rho_н$ – насипна щільність картоплі, кг/м³.

Зі збільшенням місткості контейнера зменшується кількість транспортно-складських одиниць, необхідних для розміщення певної маси продукції, однак одночасно збільшується об’єм бульб, через який необхідно забезпечити рівномірний рух вентиляційного повітря. Тому максимальне збільшення місткості без урахування умов тепломасообміну не може розглядатися як раціональний напрям удосконалення конструкції.

Особливо важливим геометричним параметром є висота контейнера. Збільшення висоти шару картоплі призводить до подовження шляху проходження вентиляційного повітря через міжбульбовий простір та зростання аеродинамічного опору. Дослідження процесів охолодження картоплі показують, що висота та об’єм завантаження суттєво впливають на тривалість охолодження продукту. Зі збільшенням висоти штабеля час досягнення необхідної температури збільшується, тоді як збільшення відношення ширини до висоти сприяє скороченню часу охолодження [3]. Хоча зазначені закономірності були досліджені для штабельного розміщення картоплі, фізичні принципи перенесення теплоти та повітря через пористий шар дозволяють враховувати їх і під час обґрунтування геометрії контейнерів.

За недостатнього повітрообміну в центральних зонах контейнера можуть формуватися ділянки з підвищеною температурою та вологістю. Це пов’язано з виділенням теплоти й водяної пари в процесі дихання бульб. Нерівномірний розподіл повітря призводить до просторової неоднорідності температури, вологості та швидкості видалення вологи. CFD-дослідження картоплесховищ підтверджують, що нерівномірність повітряних потоків є причиною виникнення зон надмірного зневоднення, локального нагрівання та конденсації вологи, що в кінцевому підсумку збільшує кількісні й якісні втрати продукції [4].

Отже, за однакової місткості перевагу з позиції повітрообміну може мати контейнер із меншою висотою шару картоплі та більшою площею основи. У такому випадку скорочується максимальний шлях проходження повітря крізь бульбову масу. Разом із тим надмірне збільшення довжини та

ширини контейнера ускладнює його транспортування, штабелювання і механізоване переміщення. Тому геометричні розміри мають визначатися на основі комплексного критерію, що враховує місткість, рівномірність вентилювання, механічну міцність і технологічність роботи з контейнером.

Важливим показником для оцінки геометрії може бути відношення площі основи контейнера до його висоти. За інших однакових умов збільшення площі основи при зменшенні висоти шару потенційно сприяє вирівнюванню температурного поля. Проте ефективність такого рішення залежить від розташування вентиляційних отворів у днищі та бокових стінках.

Результати сучасних чисельних досліджень руху повітря через картоплю, розміщену в пластикових контейнерах, підтверджують значну неоднорідність структури насипу та потоків повітря всередині тари. Застосування поєднаного CFD–DEM моделювання показало, що зміна швидкості повітря суттєво впливає як на тривалість охолодження, так і на його рівномірність. У конкретній експериментальній системі збільшення швидкості вхідного повітря від 1,0 до 1,5 м/с суттєво підвищувало ефективність охолодження, тоді як подальше підвищення швидкості забезпечувало значно менший додатковий ефект і збільшувало енерговитрати [7]. Це підтверджує необхідність узгодження розмірів контейнера та вентиляційних отворів із параметрами системи вентилювання.

При цьому збільшення інтенсивності вентиляції не завжди забезпечує зменшення природних втрат. Надмірний рух ненасиченого вологою повітря навколо поверхні бульб активізує процес транспірації. Тому вентиляційна система повинна забезпечувати достатнє відведення теплоти дихання, але не створювати надмірного осушувального ефекту. Експериментальні дослідження різних стратегій вентиляції картоплі підтвердили, що режим повітрообміну впливає на втрати маси протягом тривалого зберігання [5].

Таким чином, вплив місткості контейнера на природні втрати не є прямолінійним. Він реалізується через взаємозв’язок місткості з висотою шару, пористістю насипу, довжиною шляху руху повітря, площею контакту продукції з вентиляційним потоком та рівномірністю температурно-вологісного поля.

Таблиця 1

Основні закономірності впливу геометричних параметрів

Параметр контейнера	Наслідок зміни параметра	Можливий вплив на природні втрати
Збільшення місткості	Збільшення маси продукції та тепловиділення в одному контейнері	За недостатньої вентиляції – збільшення втрат
Збільшення висоти	Зростання довжини шляху повітря та аеродинамічного опору	Імовірне збільшення неоднорідності температури та втрат
Збільшення площі основи при незмінному об’ємі	Зменшення висоти шару	Поліпшення рівномірності вентилювання
Недостатня площа вентиляційних отворів	Обмеження руху повітря	Локальне нагрівання, конденсація, зростання втрат
Надмірна площа отворів та швидкість повітря	Інтенсифікація масообміну	Можливе збільшення втрат вологи
Раціональне співвідношення L:B:H	Вирівнювання повітряного й температурного поля	Зниження природних втрат

Для кількісної оцінки впливу конструктивних параметрів у магістерському дослідженні доцільно визначати відносні природні втрати маси за залежністю:

$$P = ((m_0 - m_\tau) / m_0) \cdot 100\ \%, \quad (3)$$

де P – природні втрати маси, %; m_0 – початкова маса картоплі, кг; m_τ – маса картоплі після певної тривалості зберігання, кг.

Як фактори експерименту доцільно прийняти місткість контейнера М, його висоту H, ширину B, довжину L, співвідношення B/H або L/H, а також коефіцієнт перфорації стінок і днища. Поряд із природними втратами необхідно контролювати температуру картоплі в нижній, середній і верхній зонах контейнера, відносну вологість повітря та швидкість повітряного потоку. Це дасть можливість установити не тільки статистичний зв’язок між розмірами контейнера і втратами, але й пояснити фізичний механізм такого впливу.

Проведений аналіз свідчить, що місткість та геометричні розміри контейнера є важливими конструктивними чинниками формування умов зберігання картоплі. Збільшення висоти й об'єму завантаження без відповідного коригування системи вентиляції може призводити до нерівномірності температурно-вологісного режиму, збільшення тривалості охолодження та природних втрат. Водночас надмірна інтенсифікація повітрообміну здатна підвищувати втрати вологи через транспірацію. Тому перспективним напрямом досліджень є визначення такого співвідношення довжини, ширини, висоти й місткості контейнера, за якого забезпечується рівномірний повітрообмін при мінімальній інтенсивності зневоднення бульб. Оптимізація зазначених параметрів дасть змогу підвищити ефективність використання місткості картоплесховища, зменшити природні втрати маси та забезпечити збереження товарної якості картоплі протягом тривалого періоду.

Список використаних джерел

1. Кожушко Н. С., Сахошко М. М., Крютченко А. І. Втрати при зберіганні картоплі селекції Сумського НАУ. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія». 2013. Вип. 11 (26). С. 195–200.

2. Gąsiorowska B., Makarewicz A. The influence of conditions and storage periods on storage losses of edible potato tubers. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio E, Agricultura. 2004. Vol. 59, No. 2. P. 721–730.

3. Chourasia M. K., Goswami T. K. Simulation of effect of stack dimensions and stacking arrangement on cool-down characteristics of potato in a cold store by computational fluid dynamics. Biosystems Engineering. 2007. Vol. 96, No. 4. P. 503–515. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.12.010.

4. Chourasia M. K., Goswami T. K. Steady state CFD modeling of airflow, heat transfer and moisture loss in a commercial potato cold store. International Journal of Refrigeration. 2007. Vol. 30, No. 4. P. 672–689. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2006.10.002.

5. Heltoft P., Wold A.-B., Molteberg E. L. Effect of ventilation strategy on storage quality indicators of processing potatoes with different maturity levels at harvest. Postharvest Biology and Technology. 2016. Vol. 117. P. 21–29. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.02.002.

6. Xanthopoulos G. T., Paytosh S., Dungan R. S., Olsen N., Spear R., de Almeida Teixeira G. H. Relative contributions of respiration and transpiration to

the weight loss of russet-type potatoes. Biosystems Engineering. 2024. Vol. 248. P. 297–307. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2024.11.006.

7. Wang H., Zhen Q., Tana, Yue X. DEM-CFD Modeling of Potato Precooling Performance Under Pressure Difference. Journal of Food Process Engineering. 2026. Vol. 49, No. 4. Article e70465. DOI: 10.1111/jfpe.70465.

УДК 631.22:620.92

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ЧОТИРЬОХКОМПОНЕНТНОЇ ДВОФАЗНОЇ ПАЛИВНОЇ СУМІШІ ДЛЯ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

Дацюк Д.А., PhD, старший викладач, datsyuck.dima2012@gmail.com
Вінницький національний аграрний університет

Сучасні тваринницькі комплекси є енергоємними об’єктами, функціонування яких потребує стабільного забезпечення електричною та тепловою енергією. Значна частина енергії використовується для роботи систем вентиляції, освітлення, водопостачання, кормоприготування, доїння, охолодження та інших технологічних процесів. У зв’язку з цим актуальним є створення локальних систем енергоживлення, здатних адаптувати виробництво енергії до змінного навантаження підприємства.

Одним із перспективних напрямів є використання біометану, одержаного шляхом переробки органічних відходів тваринницьких підприємств. Його застосування у складі паливних сумішей для двигунів внутрішнього згоряння.

Ефективність роботи двигуна при використанні багатокомпонентного палива значною мірою залежить від складу суміші, співвідношення газової та рідкої фаз, кількості повітря та режиму роботи двигуна. Зміна цих параметрів впливає на швидкість і стабільність горіння, тепловиділення, температуру робочого циклу та енергетичні показники установки.

Метою дослідження є теоретичне визначення закономірностей перебігу процесу горіння чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші

та оцінювання впливу її складу і режиму роботи двигуна на енергетичні характеристики енергогенерувальної установки.

Використання біометану як моторного палива розглядається як один із напрямів підвищення енергетичної автономності аграрних підприємств. Особливо перспективним його застосування є для тваринницьких комплексів, де сировиною для виробництва біогазу можуть бути органічні відходи виробництва.

Після очищення біогазу від небажаних домішок отриманий біометан може використовуватися в енергогенерувальних установках. При цьому для забезпечення стабільної роботи двигуна необхідно враховувати особливості процесу сумішоутворення та горіння.

Багатокомпонентна паливна система має перевагу у можливості оперативної зміни співвідношення компонентів залежно від режиму роботи двигуна.

Для проведення теоретичного дослідження розглянуто процес роботи двигуна на чотирьохкомпонентній двофазній паливній суміші. Під час аналізу враховувалися склад паливної суміші, співвідношення газової та рідкої фаз, коефіцієнт надлишку повітря, частота обертання колінчастого вала та навантаження двигуна.

Основні фактори, що враховуються під час дослідження, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні фактори теоретичного дослідження

Фактор	**Зміна параметра**	**Основний вплив**
Частка біометану	зміна складу суміші	зміна характеру горіння та тепловиділення
Співвідношення газової та рідкої фаз	різні співвідношення компонентів	вплив на сумішоутворення
Кількість повітря	від недостатньої до надлишкової	вплив на повноту згоряння
Навантаження двигуна	від часткового до номінального	зміна енергетичних показників
Частота обертання	різні режими роботи	зміна тривалості робочого циклу

Для оцінювання результатів доцільно використовувати такі показники: характер тепловиділення, максимальну температуру робочого

циклу, максимальний тиск у циліндрі, тривалість процесу горіння, ефективну потужність та паливну економічність.

Теоретичний аналіз показав, що зміна складу чотирьохкомпонентної паливної суміші безпосередньо впливає на перебіг процесу горіння. Особливе значення має частка біометану, оскільки її зміна супроводжується зміною умов утворення паливоповітряної суміші та характеру тепловиділення.

Збільшення частки біометану потребує відповідного коригування подачі повітря та інших компонентів суміші. За раціонального співвідношення компонентів забезпечуються сприятливі умови для стабільного процесу горіння.

Теоретичним аналізом встановлено вплив складу чотирьохкомпонентної двофазної паливної суміші на характер процесу горіння та тепловиділення в двигуні. Визначено основні фактори, що впливають на ефективність його роботи.

Обґрунтовано необхідність коригування складу паливної суміші відповідно до режиму роботи двигуна. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розроблення адаптивної системи керування гібридним енергоживленням тваринницьких комплексів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Рябошапка В., Гайдамак О., Штуць А., Лисенко Р. Comprehensive analysis of physico-chemical and operational properties of alternative fuel mixtures based on bioethanol, diesel and biodiesel fuel in electrical technologies of bioenergy systems of enterprises. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2025. № 2 (117). С. 131–140. – DOI: 10.37128/2306-8744-2025-2-16.

2. Стаднік М. І., Проценко Д. П., Бабій С. М. Гібридне електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії. Вісник *Вінницького політехнічного інституту.* 2020. № 4. С. 32–41. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-151-4-32-41.

3. Стаднік М. І., Грицун А. В., Проценко Д. П. Метод покриття графіку навантаження тваринницької ферми при автономному електропостачанні, на базі біогазових установо. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2019. № 4. С. 81–89

УДК 636.085.55:631.363

ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ

Дерев'янко Д.А. д.т.н., професор, **Боженко О.С.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Сучасне тваринництво значною мірою залежить від якості та собівартості кормів, а ефективність приготування комбікормів безпосередньо впливає на економічні показники виробництва продукції тваринництва. Технологічний процес виготовлення комбікормів являє собою складну послідовність взаємопов'язаних операцій, що включає приймання і зберігання сировини, очищення, дозування, подрібнення, змішування, введення рідких та мікрокомпонентів, а за необхідності — кондиціювання, гранулювання, охолодження та подальше зберігання готового продукту. Відхилення параметрів навіть на одній із зазначених стадій може знижувати продуктивність усієї технологічної лінії, підвищувати питомі енерговитрати та погіршувати однорідність і якість готового комбікорму. Відповідно до рекомендацій FAO та IFIF, ефективне комбікормове виробництво має поєднувати стабільність технологічних параметрів, контроль якості сировини, точність дозування, належну організацію виробничого процесу та забезпечення безпечності готових кормів [1].

Однією з найбільш енергоємних операцій виробництва комбікормів є подрібнення зернових компонентів. При цьому прагнення максимально зменшити розміри частинок не завжди є технологічно й економічно виправданим. Надмірне подрібнення супроводжується збільшенням витрат електроенергії, зниженням продуктивності дробарок, підвищенням утворення пилу та інтенсивності зношування робочих органів. З іншого боку, надто великі частинки можуть негативно впливати на однорідність змішування та якість подальшого гранулювання. У роботі F. Lyu та співавторів [2] показано, що вибір способу подрібнення, типу подрібнювача та гранулометричного складу продукту необхідно здійснювати з урахуванням виду сировини, подальшого технологічного процесу та вимог до кінцевого комбікорму. Доцільним є застосування молоткових, вальцьових

або комбінованих схем подрібнення залежно від необхідної дисперсності корму.

Тому одним із основних резервів підвищення ефективності технологічного процесу є встановлення раціонального ступеня подрібнення, який забезпечує необхідні технологічні властивості суміші за мінімально можливих питомих витрат енергії. Особливо важливим є контроль технічного стану молотків, решіт та інших робочих органів дробарки. Результати сучасних досліджень підтверджують, що продуктивність подрібнення залежить не тільки від частоти обертання ротора і розмірів отворів решета, а й від вологості сировини, подачі матеріалу, споживаної потужності та ступеня зношування робочих органів [5]. У виробничому дослідженні Y. Castillo Alvarez та співавторів оптимізація режиму роботи молоткової дробарки дала змогу знизити витрати електроенергії на 18 %, або приблизно на 4 кВт·год/т, одночасно підвищивши однорідність гранулометричного складу продукту [5]. Такі результати свідчать про перспективність переходу від роботи машин за постійними налаштуваннями до адаптивного керування їх режимами відповідно до властивостей конкретної сировини.

Не менш важливими операціями є дозування та змішування компонентів. Ефективність змішування визначається не лише конструкцією змішувача, а й точністю попереднього дозування, порядком введення компонентів, ступенем заповнення робочої камери, гранулометричним складом і фізико-механічними властивостями компонентів, частотою обертання робочих органів та тривалістю процесу. A.C. Fahrenholz [3] зазначає, що якість змішування необхідно розглядати як результат функціонування всієї попередньої технологічної системи – приймання сировини, подрібнення, дозування та подачі компонентів. Надмірне збільшення часу змішування після досягнення необхідної однорідності не забезпечує пропорційного покращення якості, проте збільшує тривалість циклу, споживання електроенергії та зменшує пропускну здатність технологічної лінії.

Однорідність комбікормової суміші доцільно контролювати за коефіцієнтом варіації концентрації контрольного компонента. У практиці комбікормового виробництва значення коефіцієнта варіації $CV < 10$ % часто розглядається як показник достатньої однорідності суміші [6]. При цьому сучасні дослідження демонструють перспективність застосування спектроскопічних систем, зокрема технології in-line NIR, для оперативного

контролю характеристик корму безпосередньо у виробничому потоці. Це створює передумови для визначення фактичного моменту досягнення необхідної однорідності та запобігання необґрунтованому збільшенню тривалості роботи змішувача [6].

Результати українських досліджень також підтверджують ефективність оптимізації параметрів дозування і змішування. У розроблених Інститутом тваринництва НААН варіантах ресурсозберігаючих технологічних ліній точність вагового дозування становила 0,1 кг. При збільшенні частоти обертання вала дослідного змішувача з 30 до 46 хв$^{-1}$ якість змішування зростала приблизно з 95,18 до 96,1 % при тривалості процесу 1 хв [7]. Це свідчить, що раціональне узгодження конструктивних і режимних параметрів змішувача може забезпечувати необхідну однорідність корму без невиправданого збільшення тривалості циклу.

Важливим напрямом підвищення ефективності є також удосконалення кондиціювання та гранулювання комбікормів. Гранулювання забезпечує формування корму з більш стабільними фізичними властивостями, зменшує його розшарування та втрати під час транспортування і згодовування. Разом із тим ця операція потребує значних витрат енергії, а її ефективність залежить від гранулометричного складу суміші, вологості, температури, кількості введеної пари, тривалості кондиціювання та параметрів матриці гранулятора. M. Thomas та A. F. B. van der Poel [4] наголошують на необхідності одночасно враховувати фізичну міцність гранул і енергетичні витрати на їх формування. Процеси кондиціювання, пресування та охолодження повинні розглядатися як єдина технологічна система, оскільки кожна з цих операцій впливає на фізичні властивості готового продукту.

При цьому надмірне підвищення температури або тривалості гідротермічної обробки не можна вважати універсальним способом покращення гранул. Високі температурні навантаження можуть негативно впливати на термолабільні складові корму – окремі вітаміни, ферменти та амінокислоти. Сучасні дослідження процесу комбікормового виробництва показують необхідність пошуку компромісу між продуктивністю гранулятора, індексом міцності гранул, питомими енерговитратами та збереженням поживної цінності корму [8]. Важливими резервами є керування вологістю суміші перед гранулюванням, стабілізація параметрів пари та застосування систем введення частини рідких компонентів після гранулювання.

Підвищення ефективності окремої машини не завжди приводить до відповідного збільшення продуктивності всієї лінії. Тому оптимізацію процесу приготування комбікормів доцільно здійснювати відповідно до принципу узгодження пропускної здатності технологічного обладнання. Продуктивність дробарок, дозаторів, змішувачів, транспортних пристроїв, грануляторів і охолоджувачів повинна бути взаємно узгодженою. Наявність обладнання зі значно меншою продуктивністю створює «вузьке місце», тоді як завищена встановлена потужність інших машин призводить до їх роботи при неповному завантаженні та збільшення питомого споживання електроенергії. У зв'язку з цим перспективним є застосування накопичувальних бункерів, раціонального резервування окремих операцій та керування матеріальними потоками відповідно до фактичної продуктивності обладнання.

Подальше підвищення ефективності комбікормового виробництва пов'язане з автоматизацією та цифровізацією технологічного процесу. Сучасна технологічна лінія повинна забезпечувати автоматичне вагове дозування, контроль частоти обертання робочих органів, струмового навантаження електродвигунів, продуктивності, вологості та температури сировини, тривалості змішування, параметрів кондиціювання і гранулювання. Системи керування мають не лише реєструвати параметри, а й коригувати режими роботи машин відповідно до зміни фізико-механічних властивостей сировини. Огляд сучасних технологій комбікормового виробництва показує тенденцію до інтеграції датчиків, автоматизованих систем дозування, програмного керування, відстеження компонентів та безперервного контролю якості продукції [8].

Окремим резервом є впровадження частотно-регульованого електроприводу, насамперед для дробарок, змішувачів, шнекових і стрічкових транспортерів. Регулювання частоти обертання відповідно до фактичного технологічного навантаження дає змогу уникати роботи електроприводів у нераціональних режимах. Одночасно необхідно впроваджувати систему планово-попереджувального та прогнозного технічного обслуговування. Контроль споживаної потужності, температури підшипникових вузлів, вібрації та стану робочих органів може використовуватися для своєчасного виявлення погіршення технічного стану машин. Особливого значення такий підхід набуває для молоткових дробарок, оскільки зношування молотків і решіт безпосередньо змінює їх

продуктивність, гранулометричний склад продукту та питомі витрати електроенергії [5].

Таким чином, підвищення ефективності технологічного процесу приготування комбікормів має базуватися на комплексному підході, а не на модернізації окремої технологічної операції. Основними напрямами є встановлення раціонального ступеня подрібнення компонентів; підтримання робочих органів дробарок у належному технічному стані; підвищення точності вагового дозування; оптимізація тривалості та режимів змішування; контроль однорідності суміші; оптимізація волого-теплових режимів кондиціювання й гранулювання; узгодження продуктивності обладнання технологічної лінії; використання частотно-регульованих приводів; автоматизація матеріальних потоків та впровадження засобів оперативного контролю якості.

Реалізація зазначених заходів дає змогу одночасно підвищувати продуктивність технологічної лінії, знижувати питомі енерговитрати, зменшувати непродуктивні простої обладнання та забезпечувати стабільну якість готового комбікорму. Подальші дослідження доцільно спрямувати на створення адаптивних систем керування технологічною лінією, у яких режими подрібнення, дозування, змішування та гранулювання автоматично коригуватимуться залежно від властивостей сировини та фактичного навантаження обладнання. Такий підхід створює передумови для переходу від локальної оптимізації окремих машин до комплексного ресурсозберігаючого керування процесом приготування комбікормів.

Список використаних джерел

1. FAO, IFIF. Good Practices for the Feed Sector: Implementing the Codex Alimentarius Code of Practice on Good Animal Feeding. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. ISBN 978-92-5-133533-8. FAO — Good Practices for the Feed Sector

2. Lyu F., Thomas M., Hendriks W. H., van der Poel A. F. B. Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing and predicting particle size: A review. Animal Feed Science and Technology. 2020. Vol. 261. Article 114347. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114347. Стаття

3. Fahrenholz A. C. Best practices: Mixing and sampling. Animal Feed Science and Technology. 2019. Vol. 250. P. 51–52. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.09.017. Стаття

4. Thomas M., van der Poel A. F. B. Fundamental factors in feed manufacturing: Towards a unifying conditioning/pelleting framework. Animal Feed Science and Technology. 2020. Vol. 268. Article 114612. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114612. Стаття

5. Castillo Alvarez Y., Jiménez Borges R., Monteagudo Yanes J. P., Rodríguez Pérez B., Patiño Vidal C. D., Pfuyo Muñoz R. Mathematical Model to Improve Energy Efficiency in Hammer Mills and Its Use in the Feed Industry: Analysis and Validation in a Case Study in Cuba. Processes. 2025. Vol. 13, No. 5. Article 1523. DOI: 10.3390/pr13051523. Стаття

6. Rubio A. A., Conrad S., Juzaitis-Boelter C., Wishon C. R., Fahrenholz A. C. The impact of marker selection, in-line near-infrared spectroscopy (NIR), and feed mix time on the coefficient of variation (mix uniformity), body weight uniformity and broiler growth performance during the starter, grower, and finisher periods. Poultry Science. 2023. Vol. 102, No. 12. Article 103109. DOI: 10.1016/j.psj.2023.103109. Стаття

7. Інститут тваринництва НААН. Виробництво комбікормів в умовах господарств з навантаженим резервуванням дозування та змішування. Матеріали Інституту тваринництва НААН

8. Bergeron A. N., Stark C., Boney J. W., Goldsmith T., Pope J. T., Bradshaw S., Shirely R. B. The feed milling process: A focus on the pelleting, liquid application, and their effects on animal production. Journal of Applied Poultry Research. 2026. Vol. 35, No. 3. Article 100705. DOI: 10.1016/j.japr.2026.100705. Стаття

УДК 631.372

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГУМОВИХ ГУСЕНИЧНИХ МОДУЛІВ НА ТРАКТОРАХ КЛАСУ 1,4

Дерев'янко Д.А. д.т.н., професор, **Вазінський В.І.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Підвищення ефективності використання тракторної техніки є одним із важливих напрямів удосконалення механізованих технологій сільськогосподарського виробництва. Особливо актуальним є забезпечення

високих тягово-зчіпних властивостей тракторів за одночасного зменшення їх негативного впливу на ґрунт. Трактори тягового класу 1,4, номінальне тягове зусилля яких становить близько 14 кН, широко використовуються для виконання значного комплексу польових, транспортних та допоміжних операцій [1]. Разом із тим експлуатація колісних тракторів на перезволожених, пухких та слабонесучих ґрунтах супроводжується збільшенням буксування, колієутворення, непродуктивних витрат енергії та ущільнення ґрунту.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначених проблем є переобладнання серійних колісних тракторів шляхом встановлення гумових гусеничних модулів замість коліс. Такий підхід дозволяє поєднати переваги гусеничного рушія зі збереженням універсальності базового колісного трактора. Особливий інтерес становлять трикутні гусеничні модулі, які конструктивно можуть встановлюватися на маточини ведучих мостів без суттєвої зміни базової конструкції трактора.

До основних переваг гусеничного рушія належить збільшення площі контакту ходової системи з опорною поверхнею. Унаслідок цього створюються передумови для зниження середнього питомого тиску на ґрунт та більш повного використання його несучої здатності. Зростання площі контакту також дозволяє реалізувати більшу дотичну силу тяги за меншого буксування, що особливо важливо під час виконання енергоємних технологічних операцій.

Одними з перших експериментальних робіт, що підтвердили перспективність гумових гусениць, є дослідження D. Culshaw [2]. Порівняння гумового гусеничного рушія з пневматичним тракторним колесом показало, що досліджувана гусениця за відповідних умов забезпечувала приблизно на 25 % більшу силу тяги. Автором зроблено висновок про можливість поєднання в гумовій гусениці високих тягових властивостей традиційного гусеничного рушія з кращою пристосованістю до транспортного руху.

Дослідження J. A. Okello, M. J. Dwyer та F. B. Cottrell [3] підтвердили, що гумовий гусеничний рушій може забезпечувати більший коефіцієнт тяги і досягати необхідної тягової сили за меншого рівня буксування порівняно з пневматичним колесом. Водночас авторами встановлено, що внутрішні деформації гумової стрічки та втрати в зоні взаємодії ведучого колеса з гусеницею можуть збільшувати опір руху. Це свідчить про те, що ефективність гусеничного модуля визначається не лише площею контакту з

ґрунтом, а й конструкцією приводу, жорсткістю гусениці, параметрами опорних котків та правильністю її натягу.

Важливими для оцінювання перспектив використання змінних гусеничних модулів є результати J. Arvidsson, H. Westlin, T. Keller та M. Gilbertsson [4]. У польових дослідженнях порівнювали один і той самий тип трактора, обладнаний гумовими гусеничними модулями, одинарними та здвоєними колесами. Встановлено, що гусеничний варіант характеризувався істотно меншим буксуванням і вищими тяговими можливостями. За показниками напружень у ґрунті та його ущільнення гусениці мали суттєву перевагу над одинарними колесами, тоді як відмінності між гусеницями та здвоєними колесами були значно меншими.

Зазначені результати є важливими з погляду використання гумових гусеничних модулів на тракторах класу 1,4. Зменшення буксування означає, що більша частина потужності двигуна може реалізуватися у вигляді корисної тягової потужності. Для тракторів середнього тягового класу це потенційно дозволяє підвищити продуктивність машинно-тракторного агрегату без відповідного збільшення маси трактора та надмірного баластування.

Комплексні дослідження G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker та E. Sedoni [5] показали переваги повногусеничної схеми, за якої гумові гусеничні модулі встановлювалися на обидві осі трактора. Порівнювалися конфігурації зі стандартними колесами, баластованими колесами, напівгусеничним та повністю гусеничним ходом. За результатами випробувань повністю гусенична конфігурація забезпечувала кращу тягову ефективність і менше ущільнення ґрунту. Автори також встановили, що напівгусенична схема може поступатися повногусеничній через несприятливий перерозподіл динамічних навантажень між осями.

Особливого значення гумогусеничний рушій набуває під час роботи на ґрунтах із низькою несучою здатністю. G. Molari, M. Mattetti та M. Walker [6] під час порівняльного дослідження тракторів на слабонесучому ґрунті встановили вищу тягову ефективність, менше ущільнення та зниження питомої витрати палива повністю гусеничного варіанта. За досліджених умов зменшення питомої витрати палива сягало 20 %. Це свідчить про доцільність використання гумових гусеничних модулів насамперед у періоди, коли несуча здатність ґрунту є обмеженою внаслідок підвищеної вологості.

Для тракторів класу 1,4 така властивість є особливо актуальною під час ранньовесняних та пізньоосінніх польових робіт. Застосування змінних модулів може розширити допустимі строки виконання технологічних операцій, знизити ймовірність застрягання агрегату та забезпечити стабільнішу робочу швидкість. Це має практичне значення для передпосівного обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив, міжрядного обробітку, кормозаготівельних та інших операцій.

Водночас збільшення площі контакту не гарантує автоматичного зменшення негативного впливу на ґрунт. Дослідження P. Servadio, A. Marsili, M. Pagliai, S. Pellegrini та N. Vignozzi [7] показали, що характер ущільнення залежить від розподілу контактного тиску, кількості проходів, стану та вологості ґрунту. В окремих випадках у верхньому шарі ґрунту гумогусеничний трактор не демонстрував однозначної переваги перед колісним. Причиною цього може бути нерівномірність навантаження вздовж гусениці та виникнення локальних зон підвищених контактних напружень під опорними котками.

Тому перспективність застосування гумових гусеничних модулів на тракторах класу 1,4 значною мірою залежить від оптимізації їх конструкційних параметрів. До основних параметрів слід віднести ширину і довжину опорної поверхні гусениці, кількість та розташування опорних котків, діаметр ведучого колеса, висоту ґрунтозачепів, жорсткість гумової стрічки, натяг гусениці, масу модуля та положення його центра мас.

Окремого дослідження потребує вплив маси гусеничних модулів на навантаження елементів трансмісії та ходової частини трактора. Встановлення модулів збільшує непідресорену масу та може змінювати крутні моменти, що передаються через півосі, кінцеві передачі та диференціал. У зв'язку з цим адаптація серійного трактора класу 1,4 повинна передбачати перевірку допустимих навантажень на ведучі мости та оцінювання довговічності елементів трансмісії.

Важливим напрямом удосконалення є забезпечення можливості швидкого переходу від колісної до гусеничної комплектації. На відміну від спеціалізованого гусеничного трактора, змінні модулі дають можливість використовувати один енергетичний засіб у різних технологічних умовах. Під час транспортних робіт та експлуатації на ґрунтах із достатньою несучою здатністю доцільно використовувати традиційний колісний рушій, а під час роботи на пухких і перезволожених ґрунтах – гумогусеничний.

Такий підхід дозволяє підвищити універсальність трактора та інтенсивність його річного завантаження.

Перспективним є також використання комбінованої схеми, за якої гусеничні модулі встановлюються тільки на задній ведучий міст. Такий варіант є конструктивно простішим і дешевшим, однак результати досліджень [5] свідчать, що його ефективність суттєво залежить від розподілу маси між осями. Тому для тракторів класу 1,4 необхідно експериментально визначати раціональне положення центра мас і навантаження на передній та задній мости.

Аналіз наукових праць показує, що безпосередніх експериментальних досліджень гумових гусеничних модулів саме на тракторах тягового класу 1,4 недостатньо. Більша частина опублікованих робіт присвячена машинам більшої потужності та маси. Тому пряме перенесення кількісних результатів цих досліджень на трактори класу 1,4 потребує обережності. Водночас встановлені закономірності взаємодії гумової гусениці з ґрунтом дають підстави прогнозувати позитивний ефект і для цього класу тракторів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на порівняльні польові випробування серійного трактора класу 1,4 у колісній та гумогусеничній комплектаціях. Основними оціночними показниками мають бути сила тяги на гаку, коефіцієнт буксування, тяговий ККД, робоча швидкість, продуктивність, погодинна та питома витрата палива, глибина колії, питомий тиск на ґрунт, щільність і опір пенетрації ґрунту. Доцільним є також визначення навантажень у трансмісії, температурного режиму гусениці, її зносостійкості та економічно обґрунтованого ресурсу.

Таким чином, використання гумових гусеничних модулів на тракторах класу 1,4 є перспективним напрямом підвищення їх тягово-зчіпних, агротехнічних та експлуатаційних показників. Найбільший ефект слід очікувати на пухких, перезволожених та слабонесучих ґрунтах, де традиційний колісний рушій характеризується підвищеним буксуванням. Основними потенційними перевагами є зменшення буксування і колієутворення, підвищення тягових можливостей, зниження ущільнення ґрунту та витрат палива на одиницю виконаної роботи. Практична реалізація цих переваг вимагає обґрунтування геометричних і силових параметрів модуля, оптимізації розподілу маси трактора та оцінювання впливу гусеничного рушія на довговічність трансмісії. Саме створення адаптованих до тракторів класу 1,4 швидкознімних гумових гусеничних модулів може

стати перспективним напрямом подальшого розвитку універсальних мобільних енергетичних засобів сільськогосподарського призначення.

Список використаних джерел

1. Грубань В. А. Трактори і автомобілі : методичні матеріали. Миколаїв : Миколаївський національний аграрний університет, 2022. УДК 631.372.

2. Culshaw D. Rubber tracks for traction. Journal of Terramechanics. 1988. Vol. 25, No. 1. P. 69–80. DOI: 10.1016/0022-4898(88)90063-8.

3. Okello J. A., Dwyer M. J., Cottrell F. B. The tractive performance of rubber tracks and a tractor driving wheel tyre as influenced by design parameters. Journal of Agricultural Engineering Research. 1994. Vol. 59, No. 1. P. 33–43. DOI: 10.1006/jaer.1994.1062.

4. Arvidsson J., Westlin H., Keller T., Gilbertsson M. Rubber track systems for conventional tractors – Effects on soil compaction and traction. Soil and Tillage Research. 2011. Vol. 117. P. 103–109. DOI: 10.1016/j.still.2011.09.004.

5. Molari G., Bellentani L., Guarnieri A., Walker M., Sedoni E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. Biosystems Engineering. 2012. Vol. 111, No. 1. P. 57–63. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2011.10.008.

6. Molari G., Mattetti M., Walker M. Field performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks on a low trafficable soil. Journal of Agricultural Engineering. 2015. Vol. 46, No. 4. P. 162–166. DOI: 10.4081/jae.2015.477.

7. Servadio P., Marsili A., Pagliai M., Pellegrini S., Vignozzi N. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. Soil and Tillage Research. 2001. Vol. 61, No. 3–4. P. 143–155. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00195-7.

УДК 631.3:631.2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДУЛЬНОГО УКРИТТЯ З УРАХУВАННЯМ ГАБАРИТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Дерев'янко Д.А. д.т.н., професор, **Остапенко А.П.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Ефективність використання машинно-тракторного парку аграрних підприємств значною мірою залежить не лише від технічного рівня машин, а й від організації їх зберігання у періоди, коли вони не використовуються за призначенням. Сезонний характер більшості технологічних операцій у рослинництві зумовлює тривалі простої тракторів, комбайнів, посівної, ґрунтообробної та іншої техніки. У цей період машини піддаються впливу атмосферних опадів, сонячного випромінювання, перепадів температури та підвищеної вологості повітря. Результатом є корозія металевих поверхонь, старіння полімерних і гумотехнічних елементів, пошкодження електрообладнання та погіршення експлуатаційних властивостей техніки [3, 4].

Дослідження I. Vidaković та співавторів показують, що одним із суттєвих чинників корозійного пошкодження деталей сільськогосподарських машин є саме неналежне їх зберігання у міжсезонний період. Автори наголошують, що розміщення очищеної та підготовленої техніки у закритих або критих приміщеннях суттєво зменшує вплив атмосферної вологи на металеві конструкції [3]. Сучасні дослідження умов зберігання машин також підтверджують, що використання відповідних сховищ сприяє зменшенню корозії, деформацій і пошкоджень, знижує витрати на ремонт та забезпечує готовність техніки до виконання сезонних робіт [4].

Одним із перспективних напрямів удосконалення системи зберігання техніки є застосування модульних укриттів, конструкція яких може змінюватися відповідно до кількості та габаритів машин конкретного підприємства. Перевагою модульного принципу є можливість поетапного збільшення площі споруди, уніфікації несучих елементів, спрощення монтажу та адаптації укриття до зміни структури машинно-тракторного парку.

Відповідно до рекомендацій FAO, площу споруди для зберігання машин необхідно визначати за фактичними розмірами всіх машин і знарядь, які планується в ній розміщувати, з обов'язковим додатковим простором для їх маневрування. Висота укриття повинна забезпечувати безперешкодне розміщення найвищої машини, а внутрішні опори необхідно враховувати під час формування плану розстановки, оскільки вони можуть суттєво обмежувати використання площі [1].

Таким чином, основними вихідними параметрами під час проєктування модульного укриття доцільно приймати максимальну довжину Lmax, ширину Bmax та висоту Hmax машин, а також кількість одиниць техніки n, які одночасно зберігатимуться в споруді.

Необхідну площу зони зберігання окремої машини можна представити залежністю:

$$S_i = (B_i + \Delta B) \cdot (L_i + \Delta L), \quad (1)$$

де B_i – габаритна ширина машини, м; L_i – габаритна довжина машини, м; ΔB, ΔL – додаткові технологічні зазори відповідно за шириною і довжиною, м.

У стандарті PAES 420:2002 мінімальну площу для зберігання техніки запропоновано визначати збільшенням довжини та ширини кожної машини на 0,6 м [2]. Проте для модульного укриття, в якому передбачається періодичне переміщення техніки, її агрегатування та незалежний виїзд окремих машин, технологічні відстані доцільно збільшувати відповідно до прийнятої схеми розміщення. Стандарт також передбачає, що для великогабаритної техніки ширина в'їзду повинна забезпечувати зазор близько 0,6 м з кожного боку машини, а висота воріт – не менше ніж на 0,3 м перевищувати висоту найвищої машини [2].

Загальну корисну площу укриття можна визначити:

$$S_y = \Sigma S_i \cdot k_м, \quad (2)$$

де $k_м$ – коефіцієнт, що враховує площу проїздів, технологічних проходів та зони маневрування машин.

Величина km залежить від способу розміщення техніки. За паралельного розміщення машин з незалежним виїздом потреба у допоміжній площі збільшується, проте скорочуються витрати часу на перестановку техніки. При послідовному розташуванні площа споруди використовується ефективніше, але для виїзду внутрішньої машини необхідно переміщувати інші агрегати. Враховуючи сезонність використання сільськогосподарських машин, доцільно групувати їх у

модулі за функціональним призначенням та строками виконання технологічних операцій: ґрунтообробні, посівні, збиральні та транспортні.

Ширину в'їзного прорізу модульного укриття пропонується визначати за умовою:

$$B_в \geq B_{max} + 2\delta_б, \quad (3)$$

де B_{max} – максимальна транспортна ширина машини, м; δб – боковий безпечний зазор.

З урахуванням рекомендацій [2] для великогабаритної техніки доцільно приймати δб не менше 0,6 м. Відповідно:

$$B_в \geq B_{max} + 1{,}2\ м. \quad (4)$$

Висота в'їзного прорізу визначається:

$$H_в \geq H_{max} + 0{,}3\ м. \quad (5)$$

При цьому мінімальна вільна висота внутрішнього простору повинна бути не меншою від висоти найвищої машини з урахуванням конструктивного запасу. Для машин заввишки понад 3 м PAES 420:2002 рекомендує забезпечувати не менше 0,3 м вільного простору над найвищою точкою машини [2].

Важливою особливістю запропонованого укриття є його модульність. Базова секція повинна забезпечувати можливість розміщення принаймні однієї великогабаритної машини або декількох менших агрегатів. Для цього розміри конструктивної сітки необхідно узгоджувати з максимальними транспортними габаритами техніки підприємства. Наприклад, якщо для розрахункового парку максимальна ширина машини становить 3,5 м, з урахуванням бокових технологічних зазорів ширина секції повинна становити не менше 4,7 м. З позиції уніфікації каркаса в такому випадку доцільним є перехід до стандартного модуля шириною близько 6 м. Такий модуль забезпечує запас простору для маневрування та дозволяє використовувати його для техніки різних типорозмірів.

За аналогічним принципом визначається довжина укриття. Вона повинна бути кратною довжині конструктивного модуля:

$$L_y = n_м \cdot l_м, \quad (6)$$

де $n_м$ – кількість модулів; $l_м$ – довжина одного модуля, м.

Такий підхід дозволяє нарощувати споруду відповідно до збільшення машинно-тракторного парку без суттєвої реконструкції вже існуючої частини. Практичність модульного принципу підтверджується також типовими проєктами машинних сховищ, в яких розширення будівлі передбачене шляхом додавання повторюваних конструктивних секцій.

Крім габаритних характеристик машин, конструктивні параметри укриття повинні враховувати кліматичні навантаження району його розташування. Зокрема, під час розрахунку несучого каркаса та покрівлі необхідно враховувати снігові, вітрові, ожеледні та температурні впливи відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 [5]. Снігове навантаження визначає необхідну несучу здатність покрівлі, тоді як вітрове навантаження має особливе значення для укриттів відкритого та напіввідкритого типу через виникнення тиску і відсмоктування повітря на поверхнях споруди.

Раціональним конструктивним рішенням для такого об'єкта є каркасне укриття з металевих уніфікованих елементів та легкої покрівлі. Відсутність внутрішніх колон у зоні руху техніки є бажаною, оскільки проміжні опори обмежують варіанти розстановки машин і погіршують умови маневрування [1]. Підлога повинна бути рівною, міцною та мати організований відвід поверхневих вод. FAO вказує, що навіть для спрощених машинних сховищ важливими є добре дренована основа та рівна поверхня, яка полегшує переміщення машин і приєднання навісного обладнання [1].

Використання навісу або напівзакритого модульного укриття є особливо важливим для тракторів, комбайнів та іншої техніки зі складними механічними, електричними та електронними системами. Атмосферна корозія в період тривалого зберігання призводить до втрати металу, пошкодження поверхонь та зниження довговічності конструктивних елементів машин [3, 6]. Тому захист від прямого потрапляння опадів у поєднанні з природним провітрюванням можна розглядати як один із основних технологічних критеріїв модульного укриття.

Отже, параметри модульного укриття для сільськогосподарської техніки необхідно обґрунтовувати насамперед за габаритними характеристиками машинно-тракторного парку, а не приймати лише виходячи з типових розмірів будівель. Основними визначальними показниками є максимальні довжина, ширина та висота машин, кількість одиниць техніки, необхідні технологічні зазори, ширина і висота в'їзних прорізів, площа зон маневрування та можливість незалежного виїзду машин.

Запропонований методичний підхід передбачає формування укриття з уніфікованих секцій, розміри яких встановлюють за найбільш габаритною технікою підприємства. Для машин із транспортною шириною до 3,5–4,0 м перспективним є застосування секцій шириною близько 6 м, що забезпечує

необхідні бокові зазори та резерв для оновлення машинно-тракторного парку. Модульна структура дає можливість змінювати загальну довжину укриття шляхом додавання секцій, підвищує коефіцієнт використання площі та створює передумови для зниження капітальних витрат на зберігання техніки.

Список використаних джерел

1. Bengtsson L. P., Whitaker J. H. Farm Structures in Tropical Climates: A Textbook for Structural Engineering and Design. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1988. URL: https://www.fao.org/4/s1250e/s1250e00.htm (дата звернення: 04.10.2026).

2. PAES 420:2002. Agricultural Structures – Farm Workshop and Machinery Shed. Philippine Agricultural Engineering Standard. 2002. URL: https://amtec.uplb.edu.ph/wp-content/uploads/2019/07/PNS-PAES-420-2002-Agricultural-Structures-Farm-workshop-and-Machinery-Shed.pdf (дата звернення: 04.10.2026).

3. Vidaković I., Pačarek G., Radočaj D., Andrić I. Corrosion on Parts of Agricultural Machinery. Engineering Proceedings. 2026. Vol. 125, No. 1. Art. 3. DOI: 10.3390/engproc2026125003.

4. Soysal Bozkurt B., Çelik A. Investigation of the Storage Conditions of Agricultural Machinery in Erzurum Province. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences. 2026. Vol. 40, No. 2. P. 501–515. DOI: 10.15316/selcukjafsci.1915226.

5. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2006. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199621970136139233 (дата звернення: 04.10.2026).

6. Zabara K. A., Shpak A., Shemyakin A., Melkumova T., Morozova N., Podyablonskiy A. Prevention of corrosion fracture of agricultural equipment during storage. E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 164. 06002. DOI: 10.1051/e3sconf/202016406002.

УДК 631.358:635.21:631.563

НАДІЙНІСТЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ЯК ЧИННИК ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ ТА КОРМОВОЇ ЦІННОСТІ КАРТОПЛІ

Дерев'янко Д.А. д.т.н., професор, **Тарнавський М.І.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Картопля є важливою продовольчою, технічною та кормовою культурою, ефективність використання якої значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій під час збирання. Для тваринницької галузі картопля може виступати джерелом легкоперетравних вуглеводів, крохмалю, вітамінів та мінеральних речовин. Водночас механічні пошкодження бульб, що виникають у процесі механізованого збирання, спричиняють погіршення їх технологічних і кормових властивостей, прискорюють розвиток мікробіологічних процесів та збільшують втрати під час зберігання.

Одним із ключових чинників, що визначає рівень пошкодженості бульб, є технічний стан і надійність робочих органів картоплезбиральних комбайнів. У процесі експлуатації підкопувальні лемеші, пруткові елеватори, сепарувальні пристрої, очисні вальці, транспортери та інші елементи машини піддаються інтенсивному абразивному, ударно-абразивному та втомному зношуванню. Зміна їх геометричних параметрів, виникнення деформацій, збільшення зазорів та погіршення кінематичних характеристик безпосередньо впливають на характер взаємодії робочих органів із ґрунтово-бульбовою масою.

Зношування підкопувальних робочих органів може призводити до порушення заданої глибини підкопування, збільшення опору руху та часткового перерізання або травмування бульб. Особливо небезпечними є дефекти поверхні та зміна форми робочої кромки лемешів, оскільки це підвищує ймовірність контакту металевих елементів безпосередньо з картоплею. За таких умов збільшується частка бульб із порізами, тріщинами та локальними деформаціями.

Надійність елеваторів і транспортувальних пристроїв також істотно впливає на збереженість урожаю. Зношені прутки, деформовані ланки, нерівномірність руху транспортерів та підвищені вібраційні навантаження

зумовлюють збільшення кількості ударів бульб об елементи конструкції. Інтенсивність механічного пошкодження особливо зростає за підвищеної швидкості робочих органів, збільшення висоти перепадів між транспортерами та недостатнього шару ґрунту, який у нормальних умовах частково амортизує ударні навантаження.

Механічна пошкодженість картоплі негативно позначається не лише на товарному вигляді продукції, але й на її кормовій цінності. Порушення цілісності покривних тканин активізує дихання бульб, прискорює втрати сухої речовини та створює умови для розвитку грибкової і бактеріальної мікрофлори. У результаті під час зберігання можуть знижуватися вміст крохмалю, енергетична цінність та загальна поживність картоплі. Пошкоджені бульби також характеризуються меншою лежкістю та потребують швидшого використання або додаткового сортування.

Важливим аспектом підвищення ефективності експлуатації картоплезбиральних комбайнів є забезпечення безвідмовної та стабільної роботи сепарувальних органів. Їх завдання полягає у відокремленні ґрунтових домішок і рослинних решток за мінімального травмування картоплі. Порушення режиму роботи сепарувальних механізмів через зношування підшипникових вузлів, приводів, зірочок, ланцюгів та інших елементів призводить до нестабільної швидкості переміщення вороху, появи додаткових коливань і ударних навантажень.

Для забезпечення високої якості збирання картоплі необхідно систематично контролювати технічний стан основних робочих органів комбайнів. Доцільним є проведення регулярного діагностування ступеня зношування лемешів, прутків елеваторів, транспортерів, очисних та сепарувальних елементів. Своєчасне відновлення або заміна деталей дає можливість стабілізувати технологічні режими роботи та зменшити кількість механічно пошкоджених бульб.

Перспективним напрямом є застосування зносостійких матеріалів і покриттів для найбільш навантажених елементів картоплезбиральної техніки. Підвищення твердості та зносостійкості поверхонь робочих органів дозволяє довше зберігати їх початкову геометрію, зменшувати інтенсивність абразивного зношування та забезпечувати стабільність взаємодії машини з ґрунтово-бульбовою масою. Водночас підвищення довговічності робочих органів сприяє скороченню простоїв техніки та витрат на ремонт.

Важливе значення має також оптимізація кінематичних режимів роботи картоплезбиральних комбайнів. Швидкість руху агрегату повинна

узгоджуватися зі швидкістю елеваторів і транспортерів таким чином, щоб забезпечувати рівномірне переміщення вороху без надмірних ударів та різких перепадів. Регулювання висоти падіння бульб між окремими робочими органами, застосування еластичних покриттів і демпфувальних елементів дає змогу додатково зменшити рівень пошкодженості продукції.

Таким чином, надійність робочих органів картоплезбиральних комбайнів є важливим чинником збереження якісних характеристик картоплі. Підтримання працездатності підкопувальних, сепарувальних і транспортувальних механізмів забезпечує зменшення механічних пошкоджень бульб, покращує умови їх подальшого зберігання та сприяє збереженню кормової цінності продукції. Підвищення довговічності робочих органів, удосконалення систем технічного діагностування та оптимізація режимів роботи картоплезбиральної техніки є перспективними напрямами підвищення ефективності механізованого збирання картоплі.

Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

2. Погорілий Л. В., Коваль С. М. Сучасна сільськогосподарська техніка: тенденції розвитку та ефективність використання. Київ : Аграрна наука, 2007.

3. Kutzbach H. D. Trends in power and machinery. Journal of Agricultural Engineering Research. 2000. Vol. 76. P. 237–247.

4. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2nd ed. St. Joseph, MI : ASABE, 2006.

5. Mohsenin N. N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. New York : Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

УДК 631.22:637.112:636.034

ЕКОСИСТЕМА УПРАВЛІННЯ «СМАРТ» ФЕРМИ

Заболотько О.О., к.т.н., доцент, zabolotko@nubip.edu.ua,
Задорожній К.Р., студент магістратури
Національний університет біоресурсів і природокористування України
м. Київ

Смарт ферма – це повністю автономний, роботизований, сільськогосподарський об'єкт, призначений для розведення сільськогосподарських видів / порід тварин в автоматичному режимі, що не вимагає участі людини (оператора, тваринника, ветеринара і ін.) [1].

Метою створення комплексу автоматизації і управління є комплексна автоматизація птахоферми для забезпечення необхідних умов утримання різного виду технологічних груп поголів'я (Промислове і батьківське стадо, ремонтний молодняк) на всіх фазах вирощування птиці.

Отже, «смарт ферма» передбачає: забезпечення необхідного мікроклімату, сприяє оптимальним показниками зростання птиці за рахунок підтримки температурно-вологісного режиму; регулювання якості повітря, забезпечує нормативні показники концентрації шкідливих газів; підтримки необхідного світлового режиму; забезпечення нормативного приросту птиці за рахунок дозованого годування і оптимального співвідношення кількості споживаних води і корму; повного моніторингу, аналізу, обробки, накопичення і виведення на друк всіх параметрів (температура і вологість всередині і зовні корпусу, концентрації шкідливих газів, кількість корму і води, споживання газу і електрики, і т.д.) в процесі всього терміну зростання птиці; подальшого розширення функціональних можливостей і підключення нових систем на птахофермі.

Система повинна бути багаторівневою. Це означає, що дані з певної групи датчиків і команди для виконавчих пристроїв концентруються на окремих модулях, які по загальній мережі пов'язані з центральним (керуючим) контролером. Комплекс базується на розподіленої багаторівневої керуючої мережевій платформі DDCNP (DATAMICRO Distributed Control Network Platform) Основний утворює мережею даної платформи є шина CAN (Controller Area Network, локальна мережа

контролерів), забезпечує взаємодію всіх інтелектуальних пристроїв, вузлів і блоків, а також різноманітних мережевих датчиків і виконавчих механізмів.

Екосистема управління смарт-фермою у тваринництві та птахівництві (PLF – Precision Livestock & Poultry Farming) – це інтегрована мережа технологій точного тваринництва, де моніторинг здоров'я, поведінки, мікроклімату та годівлі відбувається в режимі реального часу за допомогою IoT-датчиків, штучного інтелекту та автоматизованих агрегатів. Можна виділити вісім основних елементів системи.

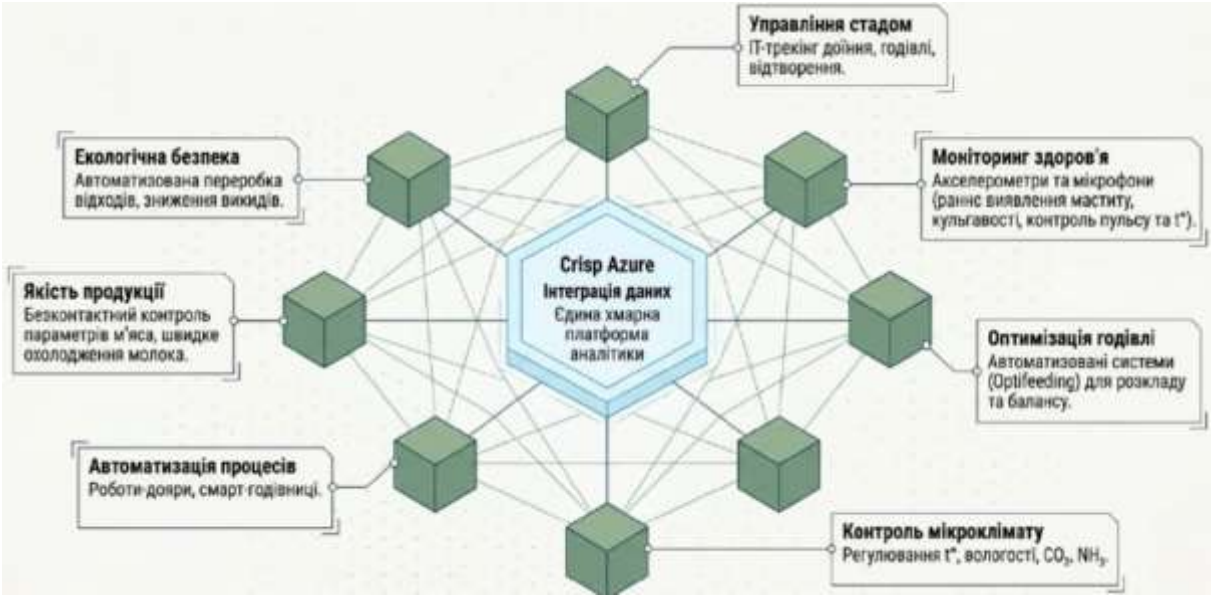

Рис. 1 – Основні елементи екосистеми управління смарт-ферми
(малюнок згенерований Gemini Notebook)

В рамках комплексу виділяються системи, функціонуючі локально, в межах одного приміщення (наприклад, система управління мікрокліматом), і системи, що функціонують глобально, в межах всього комплексу (наприклад, система оповіщення, моніторингу та управління підсистемами ферми). Функціонування систем і, відповідно, комплексу забезпечується набором програмно апаратних засобів.



Рис. 2 – Адаптація технологій з виробництва продукції тваринництва та птахівництва (малюнок згенерований Gemini Notebook).

Отже, цифрова трансформація тваринництва та птахівництва – це не тільки механізація технологічних процесів, це створення єдиної, самокерованої екосистеми на основі постійних даних у реальному часі.

Список літератури

1. Sneh. M, T. N. Raghavendra, Dr. H. Prasanna Kumar, “Internet Based Smart Poultry Farm using LabView”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), eISSN: 2395 -0056, 2016

УДК 637.116: 03

ОГЛЯД СИСТЕМ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА В УМОВАХ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Заболотько О.О., к.т.н., доцент, zabolotko@nubip.edu.ua,
Задорожній К.Р., студент магістратури
Національний університет біоресурсів і природокористування України м. Київ

В Україні діє перехідний період стосовно зміни стандартів на виробництва молока для виробників та наближення його до стандартів європейської спільноти ЕС [1]. До цих господарств відносяться: великі агрохолдінги; колективні товариства; фермерські та підсобні господарства.

В Україна, по регіонах, виробляється 67-75% молока в підсобних та фермерських господарствах, отже, існує потенціал для експорту молочної продукції.

В Європі для виробників молока діє Регламент європейського парламенту і ради (ЄС) № 853/2004 від 29 квітня 2004 року про встановлення спеціальних гігієнічних правил для харчових продуктів тваринного походження. Де під поняттями «Сире молоко» є молоко, яке вироблене шляхом секреції молочної залози тварин, вирощених на фермі, яке не нагрівалося до температури вище 40 С або не пройшло жодного оброблення, що має еквівалентний ефект [2].

«Господарство (тваринницька ферма) з виробництва молока» означає потужність, на якій утримують одну чи більше тварин, вирощених на фермі, для виробництва молока з метою введення його в обіг як харчового продукту [2].

В Україні, відповідно, з 01.01.2019 р. набрав чинності державний стандарт ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови» - документ, який встановлює вимоги для молока ґатунків «екстра», «вищий» і «перший» [3]. Разом з тим, цим же наказом, скасовано національний стандарт ДСТУ 3662:97 «Молоко коров'яче незбиране. Вимоги при закупівлі».

Зміна державних стандартів вимагає технічних змін та реконструкцій у технічному переоснащенні тваринницьких ферм та приміщень для утримання корів до сучасних вимог в умовах різних господарств та форм власності.

Підвищення якості молока від другого ґатунку до першого не вимагає значних витрат та технічного переоснащення. Основою є дотримання гігієни персоналу, самих тварин, технології доїння та обладнання для первинної обробки молока.

Швидке охолодження молока після доїння – головна умова збереження його вищого ґатунку. За санітарними нормами, молоко з температурою тіла корови (близько 35–37 °C) має бути охолоджене від +2 до +4 °C протягом 2 годин після доїння, щоб зупинити розмноження бактерій в різні періоди року.

Основні типи сучасних систем охолодження передбачають пряме, з використанням проміжного охолодження (використання проміжного теплоохолодника – вода, лід або комбінований варіант:

танки-охолоджувачі безпосереднього охолодження (Direct Expansion / DX). Найпоширеніша конструкція для малих та середніх ферм. Використовується хладоген (пряме охолодження) з компресорно-конденсаторного агрегату циркулює безпосередньо у випарнику, розташованому в нижній частині резервуара-охолоджувача, і охолоджує стінки ємності з свіжовидоєного молока. Використовуються танки відкритого і закритого типу. Танки відкритого типу використовують для господарств з поголів'ям дійного стада до 50-70 голів;

системи з акумуляцією льоду (льодогенератори / Ice Builders). Холодоагент охолоджує воду до утворення намороженого шару льоду навколо труб теплообмінника у спеціальному баку. Під час доїння крижана вода циркулює через теплообмінник резервуара. Це дає можливість накопичувати лід у нічний час за дешевшим тарифом електроенергії та миттєво охолоджувати великі об'єми молока в день;

поточні проточні охолоджувачі (Instant / Pre-cooling Systems). Використовуються для попереднього або повного охолодження молока під час його руху по молокопроводу до танка-накопичувача є елементом комбінованого типу. Використовують пластинчасті та трубчасті теплообмінники для свердловинної води з температурою 10–12 °C, що дозволяє понизити температуру молока з 37 °C до 15–18 °C без витрат електроенергії на роботу компресорного агрегату.

Узагальнені дослідження подані в таблиці.

Таким чином, для забезпечення виробників молока підсобних та фермерських господарств необхідно технічне переоснащення засобів для первинної обробки молока.

Таблиця. Систем для охолодження молока в умовах фермерського господарства

Тип системи охолодження	Принцип роботи та конструктивні особливості	Холодоагент / охолоджувальне середовище	Температурний режим охолодження	Сфера застосування / розмір господарства	Переваги та економічна ефективність
Поточні проточні охолоджувачі (Instant / Pre-cooling Systems)	попереднє або повне охолодження молока під час його руху по молокопроводу до танка-накопичувача. Використовуються пластинчасті та трубчасті теплообмінники	свердловинна вода	зниження температури молока з 37 °C до 15–18 °C	елемент комбінованої системи охолодження молока під час руху по молокопроводу	дозволяє знизити температуру молока без витрат електроенергії на роботу компресорного агрегату
Танки-охолоджувачі безпосереднього охолодження (Direct Expansion / DX)	пряме охолодження: холодоагент циркулює безпосередньо у випарнику в нижній частині резервуара та охолоджує стінки ємності з молоком. Використовуються танки відкритого і закритого типу.	хладоген	охолоджене від +2 до +4 °C протягом 2 годин	малі та середні ферми (танки відкритого типу - для господарств із поголів’ям до 50-70 голів)	найпоширеніша та найпростіша конструкція для малих і середніх фермерських господарств
Системи з акумуляцією льоду (Льодогенератори / Ice Builders)	Холодоагент наморожує шар льоду навколо труб теплообмінника у баку. Під час доїння крижана вода циркулює через теплообмінник для охолодження молока.	свердловинна вода / лід (та холодоагент для його утворення)	температура 10–12 °C	малі та середні ферми	можливість накопичувати лід у нічний час за пільговим тарифом електроенергії та миттєво охолоджувати великі об’єми молока

Список літератури

1. Закон України «Про молоко та молочні продукти» Відомості Верховної Ради України (ВВР). - 2004. - № 47. - ст. 513 (Редакція від 05.04.2015) [Електронний ресурс] / режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1870-15.
2. Регламент (ЄС) № 853/2004 Європейського Парламенту і Ради про встановлення спеціальних гігієнічних правил, що підлягають застосуванню до продовольчих товарів тваринного походження від 29 квітня 2004 року [Електронний ресурс] / режим доступу:: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994 a99.
3. ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови», наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 27 червня 2018 р. № 188. [Електронний ресурс] / режим доступу: http://uas.org.ua/ua/services/standartizatsiya/109-2/.
4. Заболотько О.О., Хмельовський В.С., Ребенко В.І. Машиновикористання у тваринництві /О.О. Заболотько, В.С. Хмельовський, В.І. Ребенко, – К.: ЦП «Компринт» , 2015. – 248 с.

УДК 631.171:633.2/.3

ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ РОБОТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН У КОРМОВИРОБНИЦТВІ

Калнагуз О.М. к.т.н., доцент, **Сіренко Ю.В.** PhD., доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Автоматизовані системи контролю сільськогосподарських машин являють собою сукупність вимірювальних, електронних, інформаційних та програмно-технічних засобів, призначених для отримання, передавання, оброблення й відображення інформації про робочі параметри машин. До їх основних компонентів належать датчики, електронні блоки керування, засоби передавання даних, бортові термінали, програмне забезпечення та, у

системах автоматичного регулювання, виконавчі механізми. Залежно від функціонального призначення автоматизовані системи, що застосовуються у кормовиробництві, доцільно поділити на такі основні групи: системи контролю технічного стану машин; системи контролю технологічних параметрів робочих органів; навігаційні системи; системи моніторингу продуктивності; системи оцінювання якості кормової маси; інформаційно-аналітичні системи дистанційного контролю.

Одним із сучасних технічних рішень у системах автоматизованого контролю кормозбиральних машин є датчик CLAAS NIR SENSOR, який встановлюється у силосопроводі кормозбирального комбайна CLAAS JAGUAR. Принцип його роботи ґрунтується на використанні ближньої інфрачервоної спектроскопії для визначення вологості та окремих показників хімічного складу кормової маси безпосередньо під час збирання. Датчик виконує до 20 вимірювань за секунду, результати яких обробляються бортовою інформаційною системою CEBIS. Залежно від виду кормової культури та відповідного калібрування система дозволяє визначати вміст сухої речовини, крохмалю, сирого протеїну, клітковини та інших компонентів. За результатами випробувань Німецького сільськогосподарського товариства (DLG), у 35 із 40 порівнянь відхилення показників датчика від лабораторних результатів становило менше ніж 2 відсоткові пункти. Застосування такого сенсорного обладнання забезпечує оперативний контроль характеристик кормової маси та створює можливості для своєчасного коригування технологічних процесів заготівлі силосу [1].

У статті Konkolewska A. досліджено застосування NIR-спектрометра, встановленого на кормозбиральній машині, для оперативного визначення перетравності сухої речовини кормових трав безпосередньо під час збирання. Встановлено, що використання такої системи забезпечує оцінювання поживної цінності свіжої кормової маси без додаткової трудомісткої підготовки проб, причому точність прогнозування характеризувалася коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,76$ [2].

У дослідженні Digman (2008) розглянуто застосування автоматизованої системи контролю вологості кормової маси на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії (NIR). Для проведення досліджень спектрометр було встановлено в силосопроводі самохідного кормозбирального комбайна, що забезпечувало можливість визначення вологості кукурудзи на силос та люцерни безпосередньо під час збирання. За результатами досліджень встановлено, що похибка перехресної

перевірки моделей прогнозування вологості кукурудзи становила 1,1 та 3,3 відсоткового пункта для лабораторного й польового калібрування відповідно. Отримані результати підтверджують перспективність використання NIR-сенсорів для оперативного контролю характеристик кормової маси, водночас вказуючи на необхідність удосконалення алгоритмів калібрування для підвищення точності вимірювань [3].

Проведений аналіз наукових публікацій свідчить, що застосування автоматизованих систем контролю роботи кормозбиральних машин створює передумови для підвищення точності виконання технологічних операцій та вдосконалення оцінювання кількісних і якісних характеристик кормової маси. Використання датчиків масового потоку, вологості та ближньої інфрачервоної спектроскопії забезпечує можливість оперативного отримання інформації безпосередньо під час збирання кормових культур. Поєднання результатів вимірювань із даними супутникової навігації дозволяє формувати електронні карти врожайності та виявляти неоднорідність продуктивності окремих ділянок поля. Особливе значення мають NIR-сенсори, застосування яких дає змогу оцінювати вміст сухої речовини та окремі показники поживності кормів. Водночас достовірність отриманих результатів залежить від правильності калібрування вимірювального обладнання, виду кормової культури та умов виконання технологічних операцій. Таким чином, інтеграція автоматизованих систем контролю з бортовими інформаційними системами кормозбиральних машин є перспективним напрямом удосконалення технічного забезпечення кормовиробництва.

Проведений огляд показує, що автоматизовані системи контролю роботи сільськогосподарських машин є важливою складовою технічного прогресу у кормовиробництві. Їх використання забезпечує можливість оперативного оцінювання технічного стану машин, контролю технологічних параметрів, моніторингу продуктивності та визначення окремих показників якості кормової маси. Перспективним напрямом подальшого розвитку є інтеграція автоматизованих систем контролю з алгоритмами адаптивного керування, що дозволить коригувати режими роботи машин відповідно до фактичних умов виконання технологічних операцій та сприятиме підвищенню ефективності використання техніки у кормовиробництві.

Список використаних джерел

1. Датчик CLAAS NIR SENSOR визначає вологість прибраної маси з лабораторною точністю. Сайт https://stotz.ua. Головна / Новини. 08.04.2020. URL: https://stotz.ua/2020/04/08/%D0%B4%D0%BD1%80%D0%B0/ (дата звернення: 09.09.2026).

2. Konkolewska, A., S. Byrne, H. Hennessy, et al. 2026. " Harvester-Mounted NIRS as a High-Throughput Approach for Predicting Forage Nutritive Value." Grass and Forage Science 81, no. 1: e70039. https://doi.org/10.1111/gfs.70039.

3. Digman M. F., Shinners K. J. Real-Time Moisture Measurement on a Forage Harvester Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. Transactions of the ASABE. 2008. Vol. 51, No. 5. P. 1801–1810. DOI: 10.13031/2013.25295.

УДК 631.352

ДО МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ЗРАЗКІВ ТРАВИ В ПРОЦЕСІ ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ В ПРИРОДНІХ УМОВАХ

Кузьменко В.Ф.[1] , провідний наук. співр., ORCID iD 0000-0002-3474-939X
Субота С.В.[1] , науковий співробітник, ORCID iD 0000-0002- 4481-0016
Пономаренко О.В.[1], провідний інженер,
Холодюк О.В.[2], доцент, ORCID iD 0000-0002-4161-6712
Онищенко Б.В.[3], доцент, ORCID iD 0009-0009-0350-4275
[1] – Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
[2] – Вінницький національний аграрний університет
[3] – Національний університет біоресурсів та природокористування

Постановка проблеми.

Ефективне утримання високопродуктивних молочних корів передбачає нормовану годівля якісними кормами. Основою годівлі корів є силос, однак в раціоні має бути сіно та сінаж, які в порівнянні з кукурудзяним силосом мають підвищений вміст білку та мікроелементів [1].

Не менше половини собівартості продукції тваринництва складають витрати на корми. Якісні стеблові корми при утримані дійних корів [1, 2], сприяють забезпеченню високих надоїв молока за низької собівартості, однак потребують для їх заготівлі сучасної кормозбиральної техніки.

Процес заготівлі сіна та сінажу з бобових трав з високим вмістом протеїну [1] передбачає ворушіння через 30 – 60 хвилин після скошування. По досягненні загальної вологості 40 – 60%, коли листя та суцвіття майже висохли, скошену траву укладають у валок для уникнення оббивання листя, а таким чином і зайвих втрат при згрібанні. В подальшому трава досихає у валку.

Для рівномірного висушування як листя, так і стебел траву при скошуванні обробляють механічно – переважно плющать. Однак досягти рівномірного висушування не вдається[3, 4], оскільки на це впливають властивості складових скошених трав, інтенсивність обробки стебел, тощо. Зважаючи на це, питання прискорення сушіння стеблової складової бобових трав є актуальним, а дослідження, присвячені вивченню властивостей висушуваних трав, розроблення методики по визначенню та порівняння вологості зразків скошених трав, аналізу конструкцій косарок-плющилок, виявленню закономірностей в будові пристроїв для кондиціонування, є актуальним науковим завданням, розв’язання якого створить передумови розроблення перспективного технологічного процесу заготівлі сіна та сінажу з використанням високоефективного інноваційного плющильного пристрою.

Мета дослідження полягає в розробленні методики обрахунку інтенсивності сушіння зразків в процесі їх сушіння за мінімізації витрат часу на її визначення.

Методи. Вимірювання інтенсивності сушіння проводилися шляхом зважування та фіксації маси досліджуваних зразків сировини, що розташовувалися на піддонах в умовах навколишнього середовища через певні відрізки часу та фіксації отриманих результатів в лабораторному журналі. Окрім часу та маси зразків фіксувалися температура, вологість та швидкість руху повітря, освітленість. Дослідження проводилися в денний час з 9.00-10.00 до 18.00.

Визначення вологості зразка скошеної трави перед початком сушіння проводиться ваговим методом з висушуванням зразка[5]. При цьому використано сушильну шафу, бюкси та ваги лабораторні електронні CERTUS Balance CBA-3000-0,05.

Початкова відносна вологість (***W відн. поч)*** у відсотках розраховувалася за залежністю:

$$W_{відн.\ поч} = (M_{вол} - M_{сух}) \times 100\% / (M_{вол} - M_{б}); \quad (1)$$

де: ***M вол***- маса вологого зразка з бюксою, ***M сух*** – маса висушеного зразка з бюксою, ***M б*** – маса бюкси**.**

За необхідності можливий розрахунок і абсолютної вологості.

Висушувані зразки розташовувалися у паперових піддонах (тарі), які мали масу (***M m***), котра була визначена попереднім зважуванням. Коливаннями маси паперових піддонів вранці та в процесі сушіння нехтуємо, оскільки ця величина не перевищувала 2 г, тоді як маса наважки складала 180 – 240 г.

Результати досліджень.

В результаті сушіння зразка отримуємо ряд значень маси сировини, що висушується, час в який відбувалося вимірювання. Останнє представляється у вигляді таблиці 1, яка формується в Excel

Таблиця 1

1	№з/п зважування	N_0	$N1_1$	$N1_2$	…	$N1_n$	$N2_1$	$N2_2$	…	N2n	$N3_1$	$N3_2$	…	N3n	
2	Маса зразка (з тарою), г	M_0	$M1_1$	$M1_2$	…	$M1_n$	$M2_1$	$M2_2$	…	M2n	$M3_1$	$M3_2$	…	M3n	
3	Час зважуван-ня, год., хв	9.00	9.15	9.30	…	18.0	9.00	9.15	…	18.0	9.00	9.15	…	18.0	18.00
4	Час сушіння, год, хв	0.00	0.15	0.30	…	9.00	9.00	9.15	…	18.00	18.00	18.15	…		27.00
5	Відносна по-точна вологість сировини ,%	W_0	$W1_1$	$W1_2$		$W1_1{}_n$	$W2_1$	$W2_2$		$W2_n$	$W3_1$	$W3_2$			$W3_n$

В першому рядку вказано порядковий номер зважування. Індекс 1,2,3 збільшеним шрифтом стосується доби сушіння, номер зменшеним шрифтом – порядковий номер зважування за тієї чи іншої доби. Це ж міркування стосується і другого рядка, однак там записана маса зразка з тарою, що відповідає порядковому номеру зважування.

Після 18.00 сушіння зразків припинялося, і вони навіть із-за підвищення вологості збільшували свою масу. Тому формувалися рядок 4 часу, що відповідав реальному процесу сушіння. В ньому записувався час сушіння з нуля по наростаючій, а не час доби. Останній запис попереднього дня та перший запис наступного за ним дня записувався під одним і тим же часом, однак маса проби могла бути різна.

В п'ятому рядку записувалася вологість сировини, що виникає в процесі сушіння. Початкова вологість визначалася експериментально та розраховувалася по залежності 1. Знаючи початкову вологість (***W відн. поч),*** початкову масу наважки (***M о)*** з піддоном та тари (***M т)*** визначаємо кількість сухої речовини у наважці ***(M с.р)*** з тарою.

$$M_{с.р} = M_о(1 - W_{відн.\ поч.}/100) + M_т \times W_{відн.\ поч.}/100 \quad (2)$$

Ця величина залишається незмінною в процесі сушіння і дозволяє визначати поточну вологість наважки розрахунковим методом по залежності 3.

$$W_{відн.\ п} = (M_{вол\ нав.} - M_{с.нав}) \times 100\% / (M_{вол\ нав} - M_т) \quad (3)$$

Де: ***W відн. п*** – поточна відносна вологість на відповідний час,
M вол нав - маса поточна наважки на відповідний час,
M с.нав – маса сухої речовини у наважці,
M т - маса тари (піддона), в якій знаходиться наважка.

Знаючи вологість зразка поточну (***W $_{(N)}$відн. п***) та попередню(***W $_{(N-1)}$відн. п***), а також проміжок часу між зважуваннями можемо визначити інтенсивність сушіння ***Ісуш*** на даному проміжку часу за залежністю:

$$I_{суш} = (W_{(N-1)відн.\ п} - W_{(N)відн.\ п}) / (t_N - t_{N-1}); \quad (4);$$

Інтенсивність сушіння показує на скільки відсотків зменшується вологість за годину часу. Цей показник дозволяє оцінити вплив на інтенсивність сушіння як умов за яких воно відбувається (температур, вологість, швидкість вітру, тощо), так і механічної дії на траву та початкової вологості.

Висновки.

Таким чином розроблено методику обрахунку інтенсивності сушіння зразків в процесі їх сушіння за мінімізації витрат часу на її визначення.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Малозалежні від погоди технології заготівлі сінажу. 2014 (Переваги рулонної технології заготівлі сінажу) URL: https://milkua.info/uk/post/malozalezni-vid-pogodi-tehnologii-zagotivli-sinazu

2. Чернюк С. Протеїнове живлення. The Ukrainian Farmer. 2016. № 6. С. 25.

3. Виробництво, заготівля та безпека кормів: монографія; за наук. ред. акад. НААН В. Ф. Петриченка, члена-кореспондента НААН О. В. Корнійчука. Київ: Аграрна наука, 2023. 288 с.

4. Кондратюк Д. Г., Труханська О. О., Прядкін М. О. Аналіз конструкцій ротаційних косарок-плющилок. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2024. № 1 (124). С. 106–114. URL: https://doi:10.37128/2520-6168-2024-1-12

5. ДСТУ ISO 6496:2005 Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та інших летких речовин (ISO 6496:1999 ANIMAL FEEDING STUFFS. Determination of moisture and other volatile matter content. , IDT)

УДК 637.116

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОЛОЧНОГО НАСОСА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Куликівський В.Л. к.т.н., доцент, **Бережницький М.В.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Підвищення ефективності виробництва молока значною мірою залежить від технічного рівня та надійності обладнання, що використовується під час машинного доїння. Одним із важливих елементів доїльної установки є молочний насос, який забезпечує переміщення молока

з молокоприймальної камери, що перебуває під вакуумом, до системи попереднього охолодження та резервуара для зберігання. Відповідність фактичної подачі насоса технологічному потоку молока визначає стабільність роботи всієї транспортної системи доїльної установки.

Аналіз наукових досліджень показує, що продуктивність молочного насоса суттєво залежить від його конструктивних параметрів та технічного стану. Під час експериментального дослідження молочного насоса НМУ-6 встановлено, що зміна конструкції робочого колеса дозволила підвищити його продуктивність. За вакууму 51 кПа та тиску в молочній лінії 1,2 кгс/см² продуктивність експериментального насоса становила 5 м³/год, а при перекачуванні за атмосферного тиску – 14 м³/год. Модифікований насос перевищував серійний за продуктивністю у 1,5 раза, одночасно забезпечуючи зменшення витрат електроенергії [1].

У процесі експлуатації робочі поверхні насоса поступово зношуються, змінюються зазори між робочим колесом і корпусом, погіршується стан ущільнень, підшипникових вузлів та приводу. Особливо суттєвим є збільшення робочих зазорів у відцентрових насосах. Дослідження M. DaqiqShirazi та ін. показало, що збільшення зазору внаслідок зношування призводить до зростання внутрішніх перетікань робочої рідини та зниження об'ємного коефіцієнта корисної дії і подачі відцентрового насоса [2]. Отже, навіть за незмінної частоти обертання електродвигуна фактична продуктивність зношеного молочного насоса може бути нижчою за номінальну.

В умовах доїльної установки це має особливе значення, оскільки надходження молока до молокоприймача є нерівномірним. Інтенсивність потоку змінюється залежно від кількості одночасно підключених доїльних апаратів та фази молоковіддачі тварин. У сучасних установках рівень молока в молокоприймачі контролюється датчиками, а частота обертання молочного насоса може регулюватися частотним перетворювачем. Таке регулювання згладжує коливання подачі та дозволяє зменшити пікову швидкість руху молока через пластинчастий охолоджувач [3]. Відповідно, порушення роботи датчика рівня, системи керування або самого насоса може призводити до накопичення молока в молокоприймачі, частих пусків насоса та нестабільності потоку.

Технічний стан молочного насоса необхідно розглядати не ізольовано, а як складову загального технічного стану молочно-вакуумної системи. Сучасні дослідження показують, що стабілізація параметрів доїльної

системи безпосередньо впливає на інтенсивність видоювання. У дослідженні D. J. Reinemann та ін. система, яка підтримувала стабільніший вакуум у процесі доїння, забезпечила збільшення швидкості видалення молока на рівні вимені на 12 %, а на рівні окремої чверті вимені – на 16 % порівняно з традиційною системою регулювання [4]. Це підтверджує важливість узгодженої роботи всіх елементів молочно-вакуумної системи, зокрема молочного насоса.

Дослідження роботи доїльних установок на 184 молочних фермах також показало, що стабільність вакууму залежить від технічних параметрів молокопроводу, його діаметра, довжини, ухилу, кількості доїльних апаратів та ефективного резерву вакуумної системи [5]. Таким чином, зниження пропускної здатності окремих елементів транспортної системи молока здатне порушувати розрахунковий режим роботи установки в цілому.

Основними причинами зменшення фактичної продуктивності молочного насоса в процесі експлуатації можна вважати зношування робочого колеса та корпусу; збільшення технологічних зазорів; погіршення стану ущільнень; забруднення робочих каналів; збільшення гідравлічного опору молокопроводу; несправність датчика рівня молока; відхилення частоти обертання робочого колеса від установленого значення; зношування підшипникових вузлів та погіршення технічного стану електродвигуна. Сукупна дія цих чинників призводить до зменшення подачі Q, напору H, коефіцієнта корисної дії насоса та збільшення питомих енерговитрат.

При цьому прагнення компенсувати втрату продуктивності простим збільшенням частоти обертання робочого колеса не завжди є доцільним. Надмірно інтенсивне механічне транспортування здатне негативно впливати на молочний жир. G. J. Escobar та R. L. Bradley встановили, що використання насоса з частотою обертання ротора 3500 хв$^{-1}$ призводило до більшого вмісту вільних жирних кислот у молоці порівняно з насосом, який працював із частотою 1750 хв$^{-1}$. Після зберігання в таких пробах також спостерігалося інтенсивніше зростання ознак ліполізу [6]. Таким чином, оптимальний технічний стан насоса передбачає не максимальну, а раціональну швидкість транспортування молока.

Сучасні дослідження додатково підтверджують необхідність урахування режиму перекачування під час оцінювання якості молока. У 2025 р. H. M. Woodhouse та ін. проаналізували 121 ферму з автоматичними системами доїння та порівняли відцентрові насоси з насосами об'ємного типу. Автори виявили лише слабку і статистично незначущу різницю у

вмісті вільних жирних кислот залежно від типу насоса, що свідчить про комплексний характер впливу технічних і технологічних факторів [7]. Отже, для оцінювання роботи молочного насоса доцільно враховувати не лише його конструктивний тип, але й фактичний технічний стан, частоту обертання, характер потоку та режим експлуатації.

Важливим наслідком погіршення технічного стану є також збільшення енергоємності технологічного процесу. Дослідження енергоспоживання 22 молочних ферм показало, що безпосередньо на процес доїння припадало близько 20 % споживання електроенергії ферми [8]. Збільшення механічних і гідравлічних втрат у насосі означає, що для перекачування однакової кількості молока необхідно витрачати більше енергії. Тому контроль технічного стану молочного насоса є одночасно засобом підтримання продуктивності доїльної установки та зменшення питомих експлуатаційних витрат.

Для оперативного оцінювання технічного стану молочного насоса пропонується використовувати коефіцієнт відносної продуктивності:

$$K_Q = Q_f / Qn \times 100\ \%, \quad (1)$$

де Q_f – фактична продуктивність насоса, м³/год; Q_n – номінальна продуктивність нового або технічно справного насоса, м³/год.

Зниження KQ за незмінних зовнішніх умов роботи може використовуватись як діагностична ознака погіршення технічного стану. Додатковими контрольованими параметрами доцільно прийняти тиск на виході насоса, споживану потужність електродвигуна, частоту обертання, рівень вібрацій, герметичність з'єднань, час спорожнення молокоприймача та температуру електродвигуна. Періодичний контроль цих параметрів дозволить виявляти поступове погіршення технічного стану ще до виникнення аварійної відмови.

Таким чином, технічний стан молочного насоса є важливим чинником формування продуктивності доїльної установки. Зношування робочого колеса, збільшення зазорів, забруднення проточної частини, порушення роботи приводу та системи керування спричиняють зменшення подачі й напору, збільшення питомих енерговитрат та порушення стабільності транспортування молока. Водночас надмірна частота обертання насоса може посилювати механічний вплив на молоко та процеси ліполізу. Тому перспективним напрямом підвищення ефективності доїльних установок є застосування систем функціонального діагностування молочних насосів за фактичною подачею, енергоспоживанням та параметрами їх технічного

стану з можливістю автоматичного регулювання частоти обертання відповідно до поточного потоку молока.

Список використаних джерел

1. Shakhov V. A., Urban V. A., Kozlovtsev A. P., Urban A. A. Peculiarities of pump operation of milking machines. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016. № 4. P. 86–88. URL: https://agris.fao.org/search/en/providers/122613/records/6473aa8013d110e4e7a7c7fc

2. DaqiqShirazi M., Torabi R., Riasi A., Nourbakhsh S. A. The effect of wear ring clearance on flow field in the impeller sidewall gap and efficiency of a low specific speed centrifugal pump. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2018. Vol. 232, № 17. P. 3062–3073. DOI: 10.1177/0954406217729420. URL: https://doi.org/10.1177/0954406217729420

3. Murphy M. D., Upton J., O'Mahony M. J. Rapid milk cooling control with varying water and energy consumption. Biosystems Engineering. 2013. Vol. 116, № 1. P. 15–22. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.05.007. URL: https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.05.007

4. Reinemann D. J., Paulrud C. O., ter Weele J. Effects of flow-responsive milking on milking performance of an automatic milking installation. JDS Communications. 2025. Vol. 6, № 6. P. 773–775. DOI: 10.3168/jdsc.2025-0819. URL: https://doi.org/10.3168/jdsc.2025-0819

5. Rønningen O. Milkline vacuum stability in milking machine installations. Journal of Dairy Research. 2002. Vol. 69, № 4. P. 501–509. DOI: 10.1017/S0022029902005812. URL: https://doi.org/10.1017/S0022029902005812

6. Escobar G. J., Bradley R. L. Effect of mechanical treatment on the free fatty acid content of raw milk. Journal of Dairy Science. 1990. Vol. 73, № 8. P. 2054–2060. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(90)78884-4. URL: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78884-4

7. Woodhouse H. M., LeBlanc S. J., DeVries T. J., Hand K. J., Kelton D. F. Association between milk pump type and free fatty acid concentrations on dairy farms with automated milking systems. JDS Communications. 2025. Vol. 6, № 3. P. 309–312. DOI: 10.3168/jdsc.2024-0666. URL: https://doi.org/10.3168/jdsc.2024-0666

8. Upton J., Humphreys J., Groot Koerkamp P. W. G., French P., Dillon P., De Boer I. J. M. Energy demand on dairy farms in Ireland. Journal of Dairy Science. 2013. Vol. 96, № 10. P. 6489–6498. DOI: 10.3168/jds.2013-6874. URL: https://doi.org/10.3168/jds.2013-6874

УДК 664.724

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЗОНОВОЇ ДЕЗІНСЕКЦІЇ ЗЕРНА

Куликівський В.Л. к.т.н., доцент, **Гришкун Д.П.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Збереження кількісних і якісних показників зерна у процесі тривалого зберігання значною мірою залежить від ефективності боротьби зі шкідниками хлібних запасів. Життєдіяльність комах у зерновій масі супроводжується прямими втратами сухої речовини, погіршенням технологічних і санітарно-гігієнічних характеристик зерна, локальним підвищенням температури й вологості та створенням сприятливих умов для розвитку мікроорганізмів. Традиційна хімічна фумігація залишається ефективним способом контролю шкідників, однак поширення резистентності комах, необхідність мінімізації залишкових кількостей пестицидів і підвищення вимог до екологічності технологій зумовлюють пошук альтернативних способів дезінсекції [1, 2].

Одним із перспективних фізико-хімічних методів є обробка зернової маси озоноповітряною сумішшю. Озон (O_3) характеризується високою окиснювальною здатністю, а після завершення реакцій швидко розкладається з утворенням молекулярного кисню. Тому, на відміну від багатьох традиційних фумігантів, його застосування не супроводжується накопиченням стійких хімічних залишків у зерні [1, 8]. Сучасні дослідження розглядають озонування як перспективний елемент систем екологічно орієнтованого захисту зерна під час зберігання.

Інсектицидна дія озону ґрунтується насамперед на його здатності викликати інтенсивний окиснювальний стрес. Озон і утворені за його

участю активні форми кисню взаємодіють із ліпідами клітинних мембран, білками та іншими біологічно активними сполуками. Важливим шляхом надходження озону до організму комах є трахейна дихальна система. Пошкодження мембранних структур, порушення клітинного дихання та окиснення біомолекул призводять до розладу фізіологічних процесів і загибелі шкідників [1, 8].

Ефективність озонової дезінсекції визначається не лише абсолютним значенням концентрації O_3, а комплексом технологічних параметрів: концентрацією озону, тривалістю експозиції, температурою та вологістю зерна, швидкістю руху озоноповітряної суміші, висотою й пористістю зернового шару, видовим складом шкідників і стадією їхнього розвитку [3–6]. Тому одним із найбільш обґрунтованих критеріїв режиму обробки є добуток концентрації озону на тривалість його дії – показник «концентрація × час». Збільшення будь-якого із цих параметрів у певних межах підвищує інсектицидний ефект, однак надмірно жорсткі режими можуть спричинити небажані окиснювальні зміни компонентів зерна.

Особливістю технологічного процесу є складна кінетика переміщення озону крізь зернову масу. Дослідження S. A. Kells та співавторів показали наявність двох характерних фаз процесу [2]. На початковій фазі озон активно взаємодіє з поверхнею зернівок, пилом, органічними домішками, мікроорганізмами та іншими речовинами, що характеризуються високою «озоновою потребою». Унаслідок цього відбувається інтенсивне руйнування O_3, а фронт озону просувається крізь зерновий шар відносно повільно. Після окиснення значної частини реакційно-активних центрів настає друга фаза, для якої характерне істотно менше руйнування озону та його швидше проникнення вглиб зернового насипу.

Саме ця закономірність має принципове значення для проєктування технологічного процесу. Визначення експозиції тільки за часом роботи генератора озону може бути некоректним, оскільки протягом початкового періоду задана концентрація у віддалених від точки введення зонах зернової маси ще не досягається. Раціональніше контролювати концентрацію O_3 не лише на вході до сховища, а й у контрольних точках по висоті зернового шару та на виході газового потоку.

У дослідженні Kells et al. під час озонування 8,9 т кукурудзи концентрацією 50 ppm протягом трьох діб смертність дорослих Tribolium castaneum, Sitophilus zeamais та личинок Plodia interpunctella становила 92–100 % [2]. Встановлено, що швидкість руху озоноповітряної суміші істотно

впливає на глибину проникнення газу: для досліджуваних умов ефективне проникнення в шар кукурудзи забезпечувалося при швидкості близько 0,02–0,03 м/с [2]. Ці результати підтверджують необхідність узгодження продуктивності озонатора з характеристиками вентиляційної системи зерносховища.

Подібні закономірності були встановлені F. Mendez та співавторами при дослідженні проникнення озону через шар пшениці. Підвищення швидкості газового потоку з 0,02 до 0,04 м/с сприяло глибшому проникненню O_3 у зернову масу на початковій стадії обробки [3]. Отже, технологічна схема повинна забезпечувати не просто утворення необхідної концентрації озону, а його рівномірний розподіл по всьому об’єму зерна.

Водночас чутливість шкідників до O_3 істотно залежить від виду та стадії розвитку. У промислових дослідах із 13,6 т пшениці E. L. Bonjour та співавтори застосовували концентрації 25, 50 і 70 ppm протягом 1–4 діб. Дорослі особини Sitophilus oryzae виявилися високочутливими: 100 % смертність була отримана після двох діб обробки. Для Tribolium castaneum повна загибель дорослих комах спостерігалася після чотирьох діб за концентрацій 50–70 ppm. Натомість яйця та личинки Plodia interpunctella характеризувалися значно більшою стійкістю [4].

Особливу складність становить знищення внутрішніх форм шкідників, що розвиваються безпосередньо всередині зернівки. L. S. Hansen, P. Hansen і K.-M. V. Jensen встановили, що для більшості відкрито розміщених стадій достатнім був режим близько 35 ppm протягом шести діб, тоді як для повного знищення внутрішніх стадій необхідно було підвищувати концентрацію до 135 ppm із тривалістю експозиції до восьми діб [5]. Отже, під час визначення режиму дезінсекції необхідно орієнтуватися не лише на вид шкідника, а й на найбільш стійку стадію його життєвого циклу.

Використання підвищених концентрацій O_3 дає змогу значно скоротити тривалість обробки. Так, M. X. McDonough та співавтори досліджували концентрації від 50 до 1800 ppm і підтвердили можливість використання короткочасної висококонцентрованої обробки [6]. Іншим технологічним підходом стало використання модифікованого шнекового транспортера для безперервного озонування зерна. За концентрації близько 47 800 ppm та середнього часу перебування зернівки в зоні озонування 1,8 хв після трьох проходів було одержано 100 % смертність дорослих T.

castaneum і S. zeamais. Це свідчить про перспективність динамічної обробки зерна високими концентраціями O_3 під час його транспортування [6].

Отже, за характером руху зернової маси технології озонової дезінсекції можна поділити на два основні типи: обробку нерухомої зернової маси в силосі або бункері та потокову обробку під час переміщення зерна. Для силосного способу доцільне введення озоноповітряної суміші через нижню систему аерації з подальшим проходженням газу в напрямку знизу вгору. Для підвищення ефективності використання озону перспективним є застосування замкненого або частково замкненого контуру рециркуляції газу.

Узагальнений технологічний процес озонової дезінсекції може включати попереднє очищення зерна від пилу та органічних домішок; завантаження і герметизацію зерносховища; генерування озону з атмосферного або підготовленого кисню; подачу озоноповітряної суміші через систему аерації; початкову фазу насичення зернової маси; вихід на задану концентрацію у контрольних точках; витримування необхідної експозиції; припинення подачі O_3 та його розкладання або видалення; контроль зараженості та якості зерна після завершення обробки.

З практичної точки зору важливим є попереднє очищення зерна. Пил, частинки оболонок та інші органічні домішки інтенсивно реагують з O_3, підвищуючи його непродуктивні витрати й зменшуючи глибину проникнення. Аналогічний ефект може спостерігатися при високому мікробіологічному забрудненні поверхні. Тому очищення зернової маси перед озонуванням слід розглядати не лише як загальну операцію післязбиральної обробки, а і як фактор підвищення енергетичної ефективності дезінсекції [3, 8].

Важливим напрямом удосконалення технології є використання автоматизованого контролю концентрації озону. Доцільним є розміщення датчиків у вхідному газовому каналі, у різних зонах зернового насипу та у вихідному потоці. На основі одержаних даних система керування може регулювати продуктивність озонатора та вентилятора, підтримуючи задану концентрацію і запобігаючи надлишковому використанню O_3. Сучасні оглядові дослідження вказують на перспективність замкнених рециркуляційних систем та інтелектуального керування процесом озонування [8].

При виборі режиму необхідно враховувати можливий вплив озону на якісні показники зерна. У низці досліджень помірні режими озонування не

спричиняли істотного погіршення технологічних властивостей пшениці, кукурудзи, сої та рису [3, 9]. Зокрема, тривала обробка концентрацією 50 ppm у дослідженні Mendez et al. не мала суттєвого негативного впливу на досліджувані характеристики переробки зерна [3]. Водночас із підвищенням концентрації та інтенсивності обробки ризик окиснення ліпідів та інших компонентів зростає. Новітні дослідження 2026 р. при обробці кукурудзи озоном концентрацією 500 ppm протягом 10 год виявили більш виражені зміни показників жирів, фенольних сполук та окиснювального стану порівняно з деякими альтернативними газовими методами [10]. Це підтверджує необхідність пошуку компромісу між максимальною смертністю шкідників і збереженням технологічної та харчової цінності зерна.

Таким чином, ключовою особливістю технологічного процесу озонової дезінсекції зерна є необхідність керування не номінальною концентрацією озону на виході з генератора, а фактичною дозою O_3, що досягає шкідників у різних зонах зернової маси. Ефективність процесу визначається взаємодією концентрації, експозиції, швидкості газового потоку, висоти зернового шару, його вологості й засміченості, а також виду та стадії розвитку комах.

Перспективним напрямом удосконалення технології є застосування керованої рециркуляції озоноповітряної суміші, багатоточкового моніторингу концентрації O_3 та автоматичної зміни продуктивності озонатора залежно від швидкості проходження озонового фронту крізь зерновий насип. Такий підхід дасть можливість забезпечити рівномірну дезінсекцію всієї зернової маси, скоротити питомі енерговитрати, мінімізувати надлишкове окиснення зерна та підвищити екологічну безпеку технології.

Список використаних джерел

1. Isikber A. A., Athanassiou C. G. The use of ozone gas for the control of insects and micro-organisms in stored products. Journal of Stored Products Research. 2015. Vol. 64. P. 139–145. DOI: 10.1016/j.jspr.2014.06.006.

2. Kells S. A., Mason L. J., Maier D. E., Woloshuk C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. Journal of Stored Products Research. 2001. Vol. 37, No. 4. P. 371–382. DOI: 10.1016/S0022-474X(00)00040-0.

3. Mendez F., Maier D. E., Mason L. J., Woloshuk C. P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. Journal of Stored Products Research. 2003. Vol. 39, No. 1. P. 33–44. DOI: 10.1016/S0022-474X(02)00015-2.

4. Bonjour E. L., Opit G. P., Hardin J., Jones C. L., Payton M. E., Beeby R. L. Efficacy of ozone fumigation against the major grain pests in stored wheat. Journal of Economic Entomology. 2011. Vol. 104, No. 1. P. 308–316. DOI: 10.1603/EC10200.

5. Hansen L. S., Hansen P., Jensen K.-M. V. Lethal doses of ozone for control of all stages of internal and external feeders in stored products. Pest Management Science. 2012. Vol. 68, No. 9. P. 1311–1316. DOI: 10.1002/ps.3304.

6. McDonough M. X., Mason L. J., Woloshuk C. P. Susceptibility of stored product insects to high concentrations of ozone at different exposure intervals. Journal of Stored Products Research. 2011. Vol. 47, No. 4. P. 306–310. DOI: 10.1016/j.jspr.2011.04.003.

7. Mishra G., Palle A. A., Srivastava S., Mishra H. N. Disinfestation of stored wheat grain infested with Rhyzopertha dominica by ozone treatment: process optimization and impact on grain properties. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. Vol. 99, No. 11. P. 5008–5018. DOI: 10.1002/jsfa.9742.

8. Sitoe E. P. E., Pacheco F. C., Chilala F. D. Advances in ozone technology for preservation of grains and end products: application techniques, control of microbial contaminants, mitigation of mycotoxins, impact on quality, and regulatory approvals. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2025. Vol. 24, No. 3. Article e70173. DOI: 10.1111/1541-4337.70173.

9. Tiwari B. K., Brennan C. S., Curran T., Gallagher E., Cullen P. J., O'Donnell C. P. Application of ozone in grain processing. Journal of Cereal Science. 2010. Vol. 51, No. 3. P. 248–255. DOI: 10.1016/j.jcs.2010.01.007.

10. Al-Shuraym L. A., Kesba H. H., Elmenofy W. H., El-Ganainy S. M., Shukry M., Sayed S. M., Aioub A. A. A., Hashem A. S. Life-stage–resolved responses of maize storage insects to ozone, phosphine, and ECO$_2$Fume and associated effects on grain composition and oxidation. Journal of Stored Products Research. 2026. Vol. 119. Article 103144. DOI: 10.1016/j.jspr.2026.103144.

УДК 664.784.8:631.363.285

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЕКСТРУДУВАННЯ

Куликівський В.Л. к.т.н., доцент, **Корпан І.В.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Екструдування належить до перспективних способів глибокої переробки рослинної сировини, який забезпечує поєднання механічної, теплової та баричної дії на матеріал протягом відносно короткого часу. Під час проходження сировини через робочі органи екструдера відбуваються її ущільнення, перемішування, подрібнення, нагрівання, пластична деформація та структурно-механічні перетворення. Унаслідок цього змінюються фізичні, технологічні та поживні властивості одержаного продукту [1].

Одним із перспективних напрямів удосконалення традиційної екструзійної технології є застосування термовакуумного екструдування, за якого вихід екструдованого матеріалу здійснюється в середовище зі зниженим тиском. Застосування вакууму дає можливість забезпечити інтенсивне випаровування частини вологи за нижчих температур, збільшити перепад тиску на виході з матриці та створити умови для формування розвиненої пористої структури продукту. При цьому зменшується необхідність використання надмірно високих температур, що сприяє кращому збереженню термолабільних компонентів рослинної сировини [2, 3].

Важливим параметром, що визначає характер протікання термовакуумного екструдування, є початкова вологість сировини. Вода в процесі екструзії одночасно виконує функції пластифікатора, теплоносія та компонента, який бере участь у формуванні структури екструдату. Зміна її вмісту впливає на реологічні характеристики матеріалу, величину сил тертя в робочій камері, тиск перед матрицею, температуру продукту, питомі витрати механічної енергії та ступінь розширення екструдату [1, 4].

За недостатньої вологості рослинної сировини збільшується її опір переміщенню в робочій камері екструдера. Це супроводжується підвищенням в’язкості матеріалу, сил тертя між сировиною, шнеком і внутрішньою поверхнею циліндра та, відповідно, збільшенням механічних

енерговитрат. Експериментальними дослідженнями встановлено, що зниження вологості сировини, як правило, приводить до збільшення питомої механічної енергії екструдування [5].

Питома механічна енергія може бути представлена залежністю:

$$SME = N / Q, \quad (1)$$

де *SME* – питома механічна енергія, кДж/кг;

N – потужність, що витрачається на процес екструдування, кВт;

Q – масова продуктивність екструдера, кг/с.

За незмінної конструкції екструдера збільшення опору руху матеріалу спричиняє підвищення крутного моменту на шнеку та споживаної потужності. Тому надто низька вологість хоча й може сприяти інтенсивнішому механічному впливу на рослинну сировину, однак з енергетичної точки зору є небажаною.

Підвищення вологості сприяє пластифікації матеріалу та зниженню його ефективної в’язкості. Вода зменшує коефіцієнт внутрішнього та зовнішнього тертя, завдяки чому матеріал легше переміщується вздовж робочої камери. Як наслідок, знижуються крутний момент, тиск перед матрицею та питомі механічні енерговитрати [4–6]. Таким чином, збільшення вологості до певної межі може позитивно впливати на енергоефективність процесу.

Водночас надлишкова вологість також має негативні наслідки. Значне зменшення в’язкості екструдованої маси знижує інтенсивність механічного зсуву та дисипації енергії. У результаті може зменшуватися ступінь термомеханічної модифікації крохмалю та інших структуроутворювальних компонентів рослинної сировини. Крім того, за надмірної кількості води формування стабільної пористої структури після виходу продукту з матриці може погіршуватися [1].

Встановлено, що зміна вологості зернової сировини в межах 20–30 % суттєво впливає на фізичні властивості одержуваних екструдатів. При збільшенні вологості змінюються коефіцієнт розширення, густина, водопоглинальна та водорозчинна здатність продукту, а також питомі механічні енерговитрати [6]. Дослідження структурних властивостей екструдованого кукурудзяного крохмалю також показали, що зі збільшенням початкової вологості сировини зменшуються пористість і коефіцієнт розширення, тоді як уявна густина продукту має тенденцію до збільшення [7].

Особливого значення вологість набуває під час термовакуумної екструзії. На відміну від традиційної екструзії, формування пористої структури в цьому випадку відбувається при більшому перепаді тиску між зоною перед матрицею та вакуумною камерою. Вода, нагріта в робочій камері, після виходу екструдату в середовище зі зниженим тиском інтенсивно переходить у пароподібний стан. Утворена пара виконує роль внутрішнього пороутворювача, сприяючи розширенню продукту.

Отже, початкова вологість рослинної сировини визначає не тільки її реологічні характеристики в робочій камері, а й кількість води, яка потенційно може перейти у пару при різкому зниженні тиску. За недостатньої вологості кількість утвореної пари може бути недостатньою для інтенсивного розширення матеріалу. За надлишкової вологості, навпаки, істотно зменшується в'язкість розплаву, через що сформовані пори можуть бути нестійкими, а механічна міцність структури – недостатньою.

Результати дослідження вакуум-асистованої екструзії червоного рису свідчать, що ефективне формування екструдату може забезпечуватися за значно нижчої температури, ніж у традиційних високотемпературних процесах. Для досліджуваної сировини раціональні параметри становили температуру робочої камери 77,5 °C, вологість 32,5 %, частоту обертання шнека 350 хв$^{-1}$ та рівень вакууму 300 мм рт. ст. [2]. Це дало змогу одержати розширений продукт за відносно низької температури та підвищити збереження біологічно активних речовин.

Близькі результати отримано при термовакуумній переробці суміші жита та пажитника. Вологість досліджуваної суміші змінювали в межах 25–35 %, температуру – 70–100 °C, частоту обертання шнека – 200–350 хв$^{-1}$, а величину вакууму – 0–400 мм рт. ст. Аналіз поверхні відгуку показав, що для конкретної досліджуваної суміші раціональним було поєднання вологості 32,5 %, температури 77,5 °C, частоти обертання шнека 350 хв$^{-1}$ та вакууму 300 мм рт. ст. [3].

Ці результати свідчать, що для термовакуумного екструдування зернової та іншої крохмалевмісної рослинної сировини доцільно окремо досліджувати область підвищеної, порівняно з традиційною сухою екструзією, вологості. Зокрема, інтервал 25–35 % може бути використаний як початковий факторний діапазон для експериментальної оптимізації. При цьому область близько 30–33 % становить особливий інтерес, але не повинна розглядатися як універсальний оптимум, оскільки раціональна вологість залежить від гранулометричного та хімічного складу матеріалу,

вмісту крохмалю, білка, клітковини та жиру, а також від конструкції шнека й матриці.

Для комплексного оцінювання впливу вологості на ефективність термовакуумного екструдування доцільно контролювати такі параметри: продуктивність екструдера, споживану потужність, питомі енерговитрати, температуру матеріалу, тиск перед матрицею, кінцеву вологість, коефіцієнт розширення та насипну густину екструдату.

Ефективність процесу в загальному вигляді доцільно оцінювати не за одним показником, а як компроміс між продуктивністю, енергетичними витратами та якістю одержаного продукту. Зростання вологості сировини сприяє зниженню механічних енерговитрат завдяки пластифікуючій дії води, проте після перевищення раціональної межі може погіршувати умови структуроутворення та знижувати ступінь розширення екструдату.

Таким чином, вологість рослинної сировини є одним із визначальних технологічних параметрів термовакуумного екструдування. Її вплив має комплексний характер і проявляється через зміну реологічних властивостей сировини, навантаження на робочі органи екструдера, питомих енерговитрат, інтенсивності випаровування води у вакуумній камері та формування структури готового продукту. Для зернової сировини перспективним напрямом подальших експериментальних досліджень є встановлення залежностей продуктивності, питомої енергоємності та коефіцієнта розширення від вологості в діапазоні 25–35 % з подальшим визначенням раціональної області за комплексним критерієм енергоефективності та якості екструдату.

Список використаних джерел

1. Bakhchevnikov O. N., Braginets S. V. Extrusion of plant raw materials in food production: a review. Food Processing: Techniques and Technology. 2020. Vol. 50, No. 4. P. 690–706. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706.

2. Ramchiary M., Das A. B. Vacuum-assisted extrusion of red rice (bao-dhan) flour: Physical and phytochemical comparison with conventional extrusion. Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Vol. 44, No. 8. Article e14570. DOI: 10.1111/jfpp.14570.

3. Frolov D. I., Kurochkin A. A., Potapov M. A. Influence of thermal vacuum extrusion on the physical and physicochemical properties of the resulting

product. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2024. Vol. 9, No. 4. P. 37–46. DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-37-46.

4. Janssen L. P. B. M., Mościcki L., Mitrus M. Energy aspects in food extrusion-cooking. International Agrophysics. 2002. Vol. 16, No. 3. P. 191–195.

5. Papchenko V. Yu., Stepankova H. V., Karatieieva O. I., Balandina I. S., Shapovalenko D. O., Kariuk A. O., Statyvka Y. S., Bakumenko O. M., Melnyk A. V., Horbas S. M. Determining the effect of raw materials moisture and lipid content on the technological properties of the extruded protein-fat system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. Vol. 4, No. 11 (124). P. 37–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285132.

6. Kim C. H., Jin T., Ryu G. H. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2012. Vol. 41, No. 11. P. 1603–1610. DOI: 10.3746/jkfn.2012.41.11.1603.

7. Thymi S., Krokida M. K., Pappa A., Maroulis Z. B. Structural properties of extruded corn starch. Journal of Food Engineering. 2005. Vol. 68, No. 4. P. 519–526. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.07.002.

УДК 631.331.5:633.63

ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ ВИСІВНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ПРИ ВИРОЩУВАННІ КОРМОВИХ БУРЯКІВ

Куликівський В.Л. к.т.н., доцент, **Олішевський П.С.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Кормові буряки є цінною високопродуктивною кормовою культурою, ефективність вирощування якої значною мірою визначається рівномірністю формування посіву. Важливою передумовою одержання вирівняних коренеплодів є забезпечення заданої густоти рослин та рівномірного розподілу насіння вздовж рядка. Тому під час вирощування кормових

буряків особливого значення набуває застосування сівалок точного висіву. Для кормових буряків рекомендується саме точна сівба, причому в сучасних технологіях переважно використовують одноросткове каліброване або дражоване насіння.

Традиційні механічні висівні апарати, робочими органами яких є комірчасті диски або барабани, характеризуються порівняно простою конструкцією і невисокою енергоємністю. Проте зі збільшенням робочої швидкості сівалки їх здатність забезпечувати стабільний поштучний відбір насіння знижується. Негативно на якість висіву можуть впливати коливання розмірів насіння, вібрації посівної секції, пробуксовування приводного колеса та зміна швидкості руху машинно-тракторного агрегату.

Перспективним напрямом розвитку висівних систем для кормових буряків є застосування пневматичних вакуумних апаратів. Основними елементами такого апарата є насіннєва камера, висівний диск із каліброваними отворами, вакуумна камера, пристрій для видалення зайвого насіння та зона його скидання. Під дією перепаду тиску окремі насінини притягуються до отворів висівного диска, транспортуються до зони висіву, після чого відокремлюються та спрямовуються у насіннєпровід або безпосередньо в борозну.

Вакуумна схема є однією з найбільш перспективних для точного висіву через здатність працювати з насінням різної форми та розмірів і забезпечувати надійну його сингуляцію. Аналіз сучасних досліджень пневматичних висівних систем показує, що більшість конструктивних розробок зосереджені саме на вакуумному принципі роботи. Основними параметрами, що визначають якість їх функціонування, є величина розрідження, діаметр і форма отворів висівного диска, частота його обертання, конструкція відсікача зайвого насіння та характеристики повітряного потоку.

Для насіння буряків особливо важливим є правильний вибір величини розрідження. Дослідження вакуумних апаратів показують, що необхідний рівень вакууму залежить від маси, площі проєкції, форми та густини насіння. Для насіння цукрових буряків, яке за технологічними властивостями близьке до дражованого насіння кормових буряків, у лабораторних дослідженнях установлено можливість стабільної роботи вакуумного висівного апарата за відносно невеликого розрідження. Це дає можливість знижувати енергетичні витрати на створення повітряного потоку.

Наступним етапом удосконалення конструкції є індивідуальний електричний привід висівного диска кожної посівної секції. На відміну від механічних систем, у яких обертання висівних апаратів забезпечується від опорно-приводного колеса через ланцюгові й зубчасті передачі, електропривод дозволяє незалежно регулювати частоту обертання кожного апарата. Сучасні дослідження підтверджують, що електропривод висівних систем створює основу для підвищення точності дозування, автоматичного керування нормою висіву та реалізації функцій диференційованої сівби.

Структурно перспективний висівний апарат для кормових буряків доцільно виконувати у вигляді модульної системи, яка включає: бункер для насіння; вакуумну камеру; вертикальний або похилий висівний диск із каліброваними отворами; регульований відсікач подвійного захоплення насіння; електродвигун індивідуального приводу; оптичний датчик контролю проходження насіння; електронний контролер та систему зв'язку з бортовим комп'ютером сівалки.

Наявність електроприводу усуває залежність частоти обертання висівного диска від пробуксовування опорного колеса. Інформація про фактичну швидкість руху агрегату може надходити від GNSS-приймача або датчиків швидкості, після чого електронний контролер у режимі реального часу визначає необхідну частоту обертання висівного диска. Це дає можливість підтримувати задану відстань між насінинами навіть за зміни швидкості руху агрегату.

Практичне застосування такого принципу вже реалізується у сучасних сівалках точного висіву. Наприклад, електричний привід окремих висівних секцій дозволяє змінювати висівні диски для різних культур, включаючи кормові буряки, а також використовувати автоматичне відключення секцій.

Важливим конструктивним елементом перспективного висівного апарата є система контролю сингуляції насіння. Оптичний або фотоелектричний датчик, установлений у насіннєпроводі, реєструє проходження кожної насінини. За результатами вимірювань контролер може визначати кількість пропусків і подвійних висівів. У перспективних конструкціях ці дані можуть використовуватись не лише для інформування оператора, але й для автоматичного коригування частоти обертання висівного диска, положення відсікача або рівня розрідження.

Особливе значення для точного землеробства має можливість диференційованого висіву. За наявності електронної карти-завдання норма висіву може автоматично змінюватися залежно від характеристик окремих

ділянок поля. У межах зон із різною родючістю, забезпеченістю вологою або потенційною продуктивністю можна встановлювати різну густоту рослин. Електропривод висівного апарата є технічною основою такої технології, оскільки дозволяє оперативно змінювати частоту обертання висівного диска незалежно для окремої секції.

Ще однією важливою функцією є автоматичне посекційне відключення висіву (Section Control). При наближенні до вже засіяної ділянки або розворотної смуги система навігації формує команду на зупинку електродвигуна відповідного висівного апарата. Це запобігає перекриттям посіву та перевитраті насіння, що особливо актуально для полів складної конфігурації.

Перспективним напрямом також є використання методів CFD і DEM для оптимізації форми вакуумної камери, геометрії отворів висівного диска та руху насіння. Сучасні дослідження свідчать, що CFD–DEM моделювання дає змогу оцінювати взаємодію повітряного потоку і насіння ще на стадії проєктування апарата та обґрунтовувати раціональні конструктивно-технологічні параметри без проведення великої кількості натурних експериментів.

Таким чином, перспективна конструкція висівного апарата для кормових буряків повинна поєднувати пневматичний вакуумний принцип поштучного відбору насіння, індивідуальний електропривод висівного диска, електронний контроль проходження насіння та автоматичне регулювання технологічних параметрів. Інтеграція такого апарата з GNSS-навігацією, картами-завданнями та системами автоматичного керування секціями створює передумови для реалізації технологій точного землеробства.

Застосування зазначених технічних рішень дає можливість підвищити рівномірність поздовжнього розподілу насіння, зменшити кількість пропусків і подвійних висівів, забезпечити адаптивне регулювання норми висіву та знизити непродуктивні витрати посівного матеріалу. Подальші дослідження доцільно спрямувати на обґрунтування геометричних параметрів висівного диска, величини вакууму, частоти його обертання та алгоритму керування електроприводом з урахуванням фізико-механічних властивостей дражованого насіння кормових буряків.

Список використаних джерел

1. Mikheyev V. V., Kusova N. I., Savelyeva M. S., Goncharov N. T., Grishin A. A. Innovative agro-engineering solutions in design of drills for sugar and fodder beet. Tractors and Agricultural Machinery. 2016. Vol. 83, No. 1. P. 16–20. DOI: 10.17816/0321-4443-66120.

2. Karayel D., Wiesehoff M., Özmerzi A., Müller J. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. Computers and Electronics in Agriculture. 2006. Vol. 50, No. 2. P. 89–96.

3. Wang H., Yang L., Zhang D., Cui T., He X. et al. Comparative investigation and evaluation of electric-drive seed-metering systems across diverse speed ranges for enhanced high-precision seeding applications. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 222. Article 108976. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108976.

4. Volskyi V. A., Kotsiubanskyi R. V., Tretyak V. M., Bonchyk V. S. Analysis of the use of electric drive in dosing elements of seeders. Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics. 2025. DOI: 10.37406/2706-9052-2025-1.32.

5. Hussain S., Chen Y., Yu X., Farid M. U. et al. Design optimization and aerodynamic investigations of air suction seed metering systems through CFD-DEM approach. Smart Agricultural Technology. 2025. Vol. 12. Article 101082. DOI: 10.1016/j.atech.2025.101082.

6. Advancements in pneumatic seed-metering devices: A review of numerical and experimental approaches. Results in Engineering. 2025. Vol. 26. Article 105626. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.105626.

УДК 631.3:004.8

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА РОБОТОТЕХНІКИ В СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Куликівський В.Л. к.т.н., доцент, **Хмельовський Р.А.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Сучасне сільське господарство перебуває на етапі активної цифрової трансформації, характерною особливістю якої є перехід від традиційної механізації технологічних процесів до використання інтелектуальних автоматизованих і роботизованих систем. Зростання вимог до продуктивності аграрного виробництва, дефіцит кваліфікованих працівників, необхідність економного використання матеріально-технічних ресурсів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище сприяють активному впровадженню технологій штучного інтелекту (ШІ) та робототехніки. Аналіз наукових досліджень свідчить, що найбільш перспективним є не ізольоване застосування окремих алгоритмів ШІ або роботизованих машин, а формування інтегрованих систем, які забезпечують отримання інформації, її аналіз, прийняття рішення та автоматизоване виконання технологічної операції [1].

Штучний інтелект у сільському господарстві охоплює широкий спектр методів: машинне та глибоке навчання, штучні нейронні мережі, нечітку логіку, комп'ютерний зір, генетичні й інші оптимізаційні алгоритми. На їх основі створюються системи розпізнавання рослин і бур'янів, прогнозування врожайності, оцінювання стану ґрунту, визначення захворювань рослин, планування маршрутів руху машин та керування робочими органами сільськогосподарських роботів. Систематичний аналіз наукових праць показує, що ШІ дедалі частіше інтегрується безпосередньо у процеси вирощування, моніторингу та збирання сільськогосподарської продукції [1].

Ключовою складовою сучасної аграрної робототехніки є автономний мобільний робот, здатний переміщуватися в умовах поля без безперервного керування оператором. Для його функціонування використовують GNSS/RTK-позиціонування, інерціальні вимірювальні системи, LiDAR, ультразвукові датчики, RGB- та RGB-D-камери, мульти- і гіперспектральні сенсори. На основі інформації від цих засобів алгоритми ШІ здійснюють

локалізацію машини, виявлення перешкод, розпізнавання рядків рослин, побудову траєкторії та адаптацію режимів роботи відповідно до поточного стану агрофону. Саме поєднання інтелектуального сприйняття навколишнього середовища, алгоритмів прийняття рішень і виконавчих механізмів визначає сучасний напрям розвитку польової робототехніки [2].

Важливою сферою застосування ШІ є моніторинг стану сільськогосподарських культур. Технології комп'ютерного зору дозволяють автоматично аналізувати цифрові зображення рослин, визначати ознаки стресу, дефіциту елементів живлення, ураження шкідниками та хворобами, оцінювати стиглість плодів. Використання алгоритмів машинного навчання разом із сучасними спектральними й оптичними сенсорами дає можливість переходити від періодичного візуального контролю до безперервного об'єктивного моніторингу. Особливе значення має об'єднання інформації від декількох сенсорів, що дозволяє формувати більш повне уявлення про стан рослини та підвищувати достовірність прийнятих технологічних рішень [3].ерервного об'єктивного моніторингу. Особливе значення має об'єднання інформації від декількох сенсорів, що дозволяє формувати більш повне уявлення про стан рослини та підвищувати достовірність прийнятих технологічних рішень [3].

Одним із найбільш перспективних напрямів практичного застосування аграрної робототехніки є автоматизована боротьба з бур'янами. Сучасні роботизовані системи за допомогою камер та алгоритмів глибокого навчання можуть розрізняти культурні рослини й бур'яни, визначати їх просторове положення та здійснювати точковий вплив. Залежно від конструкції робочого органа можливе механічне видалення бур'янів, локальне внесення гербіцидів, електричний, термічний або лазерний вплив. Це створює передумови для скорочення суцільного застосування хімічних засобів захисту рослин та переходу до принципу обробітку окремої рослини. У сучасних дослідженнях особлива увага приділяється об'єднанню машинного зору, RTK-GPS і декількох типів сенсорів для підвищення точності навігації та ідентифікації бур'янів у реальних польових умовах [4].

Значний потенціал роботизації спостерігається також у процесах збирання плодів та овочів. У цьому випадку робот має вирішувати значно складніші завдання, ніж при виконанні традиційних механізованих операцій. Необхідно виявити плід серед листя і гілок, визначити ступінь його стиглості, оцінити просторові координати, сформувати траєкторію переміщення маніпулятора та виконати захоплення без пошкодження

продукції. Для цього роботизовані маніпулятори оснащуються системами технічного зору, датчиками відстані, силомоментними сенсорами та спеціалізованими захватами. Перспективним напрямом є використання м'яких і адаптивних захватних пристроїв, конструкція яких забезпечує взаємодію з плодами різної форми, розмірів та механічних властивостей [5].

Сучасна концепція роботизованого землеробства передбачає не лише використання однієї автономної машини, а й застосування груп малогабаритних роботів, здатних координувати власні дії. Порівняно з важкими машинно-тракторними агрегатами малі роботизовані платформи потенційно створюють менший тиск на ґрунт, можуть багаторазово виконувати технологічні операції з високою просторовою точністю та працювати тривалий час із мінімальною участю людини. Систематичний огляд 59 польових роботизованих платформ, опублікований у 2025 р., показав значну різноманітність їх функціонального призначення: універсальні операції, збирання врожаю, механічне та хімічне знищення бур'янів, моніторинг, пересаджування, обробіток ґрунту та сівба. При цьому 63 % розглянутих платформ мали електричний привод, а RTK-GPS використовувався для навігації у 28 із 59 досліджених роботів [6].

Розвиток штучного інтелекту створює передумови для переходу від заздалегідь запрограмованих роботизованих операцій до адаптивного виконання технологічних процесів. Наприклад, робот для догляду за посівами може не лише рухатися за встановленим маршрутом, але й у режимі реального часу визначати рослини, оцінювати їх стан і вибирати необхідний вплив. За такого підходу одна рослина може розглядатися як окремий об'єкт керування, для якого визначається необхідність внесення добрив, засобів захисту або виконання механічної операції. Це відповідає подальшому розвитку концепції точного землеробства в напрямі так званого plant-specific management – індивідуального керування станом окремих рослин.

Водночас результати наукових досліджень свідчать, що широкомасштабне впровадження аграрної робототехніки стримується низкою технічних та економічних факторів. До них належать висока початкова вартість роботизованого обладнання, необхідність створення надійних систем безпеки, залежність навігації від якості супутникового сигналу, недостатня стабільність алгоритмів комп'ютерного зору за різного освітлення і погодних умов, складність роботи на нерівній поверхні та серед густої рослинності. Окремою проблемою залишається перенесення моделей

ШІ, навчених на одному масиві даних, на інші сорти культур, ґрунтово-кліматичні умови та технології вирощування [2, 4].

Економічна ефективність роботизації також значною мірою залежить від розміру господарства, структури технологічних операцій, тривалості завантаження робота протягом року та вартості ручної праці. Тому оцінювання роботизованих систем має здійснюватися комплексно – не лише за показниками продуктивності, але й з урахуванням експлуатаційних витрат, енергоспоживання та екологічних наслідків. Дослідження роботизованого виконання сівби та прополювання показують доцільність одночасного врахування операційних, економічних і екологічних критеріїв під час вибору між традиційною та роботизованою технологіями [7].

Подальший розвиток аграрної робототехніки буде пов'язаний із глибшою інтеграцією роботів із технологіями Internet of Things, хмарними платформами, безпілотними літальними апаратами та системами підтримки прийняття рішень. У такій системі безпілотні літальні апарати та наземні сенсори можуть виконувати первинний моніторинг поля, ШІ – аналізувати отримані дані й визначати проблемні ділянки, а автономні наземні роботи – безпосередньо виконувати необхідну операцію. У результаті формується єдиний інформаційно-керуючий простір аграрного підприємства, у якому технологічні рішення приймаються на основі об'єктивних даних.

Найновіші наукові дослідження підтверджують тенденцію переходу від окремих моделей ШІ до інтегрованих систем Agriculture 4.0, які поєднують машинне навчання, IoT, сенсори, автоматичне керування та робототехніку. Систематичний огляд 95 рецензованих праць 2021–2025 рр. показав, що серед основних напрямів застосування ШІ залишаються моніторинг навколишнього середовища, захищений ґрунт, виявлення шкідників і хвороб, управління живленням та зрошенням, прогнозування врожайності й роботизація. Разом із тим автори наголошують, що значна частина розробок досі перебуває на рівні прототипів і потребує тривалої перевірки у різних реальних виробничих умовах [8].

Таким чином, поєднання штучного інтелекту та робототехніки формує один із ключових напрямів подальшого розвитку сільськогосподарської техніки. Найбільший потенціал мають автономна навігація, інтелектуальний моніторинг посівів, роботизована боротьба з бур'янами, диференційоване внесення матеріалів, автоматизоване збирання врожаю та використання груп малогабаритних роботів. Їх упровадження дозволяє перейти від механізації суцільних технологічних операцій до точного впливу на конкретну ділянку

поля або окрему рослину. Подальше вдосконалення алгоритмів машинного зору, сенсорних систем, автономної навігації, систем безпеки та адаптивного керування сприятиме формуванню нового покоління сільськогосподарських машин, здатних самостійно аналізувати виробничу ситуацію, приймати технологічно обґрунтовані рішення та виконувати їх із мінімальною участю оператора.

Список використаних джерел

1. Wakchaure M., Patle B. K., Mahindrakar A. K. Application of AI techniques and robotics in agriculture: A review. Artificial Intelligence in the Life Sciences. 2023. Vol. 3. Article 100057. DOI: 10.1016/j.ailsci.2023.100057.

2. Liu L., Yang F., Liu X., Du Y., Li X., Li G., Chen D., Zhu Z., Song Z. A review of the current status and common key technologies for agricultural field robots. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 227. Article 109630. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109630.

3. Islam M., Bijjahalli S., Fahey T., Gardi A., Sabatini R., Lamb D. W. Destructive and non-destructive measurement approaches and the application of AI models in precision agriculture: a review. Precision Agriculture. 2024. Vol. 25. P. 1127–1180. DOI: 10.1007/s11119-024-10112-5.

4. Upadhyay A., Zhang Y., Koparan C., Rai N., Howatt K., Bajwa S., Sun X. Advances in ground robotic technologies for site-specific weed management in precision agriculture: A review. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 225. Article 109363. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109363.

5. Jin T., Han X. Robotic arms in precision agriculture: A comprehensive review of the technologies, applications, challenges, and future prospects. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 221. Article 108938. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108938.

6. Fontani M., Luglio S. M., Gagliardi L., Peruzzi A., Frasconi C., Raffaelli M., Fontanelli M. A Systematic Review of 59 Field Robots for Agricultural Tasks: Applications, Trends, and Future Directions. Agronomy. 2025. Vol. 15, No. 9. Article 2185. DOI: 10.3390/agronomy15092185.

7. Vahdanjoo M., Gislum R., Sørensen C. A. G. Operational, Economic, and Environmental Assessment of an Agricultural Robot in Seeding and Weeding Operations. AgriEngineering. 2023. Vol. 5, No. 1. P. 299–324. DOI: 10.3390/agriengineering5010020.

8. Ibnat N., Azad M. A. K., Chowdhury S. S., Giordano J. O., Adetunji A. O., Islam S. Artificial intelligence in modern agriculture: recent advances, challenges, and future directions: a systematic review. Artificial Intelligence in Agriculture. 2026. Available online 26 August 2026. DOI: 10.1016/j.aiia.2026.08.005.

УДК 631.363.7:681.5

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗМІШУВАННЯ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Купчук І.М., к.т.н., доцент, kupchuk.igor@i.ua
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Оскільки результат змішування кормових матеріалів залежить від властивостей компонентів, завантаження ємності та режиму механічного впливу [1, 2], зміна умов роботи зумовлює необхідність коригування режиму на основі оцінки поточного стану процесу. Це потребує обґрунтування зв’язку між вимірюваними параметрами, характеристиками стану суміші та керувальними впливами, вибір яких має забезпечувати досягнення заданої однорідності зі збереженням необхідної структури корму за раціональних питомих енерговитрат.

Метою дослідження є обґрунтування концептуальних засад адаптивного керування процесом змішування кормових матеріалів шляхом узгодження керувальних впливів з оцінкою поточного стану процесу для досягнення заданої однорідності суміші зі збереженням необхідної структури корму за раціональних питомих енерговитрат.

Методичний підхід. Дослідження ґрунтується на структурно-функціональному аналізі процесу змішування, у межах якого властивості матеріалу та режим механічного впливу пов’язано з вимірюваними параметрами й показниками якості суміші. Для формування схеми адаптивного керування розмежовано безпосередньо вимірювані величини та характеристики стану процесу, що потребують модельного оцінювання, і визначено послідовність використання цієї інформації для коригування режиму та перевірки технологічного результату.

Результати дослідження. Запропоновано структурно-функціональну схему адаптивного керування змішуванням кормових матеріалів (рис. 1), що поєднує вибір керувальних впливів, оцінювання стану суміші та уточнення параметрів моделі за результатами вимірювань. Вихідними даними є вектор властивостей і складу партії p, який охоплює рецептуру, масу, вологість, фракційний склад і ступінь заповнення робочої ємності, а також технологічні вимоги, що задають допустимі значення показників якості.

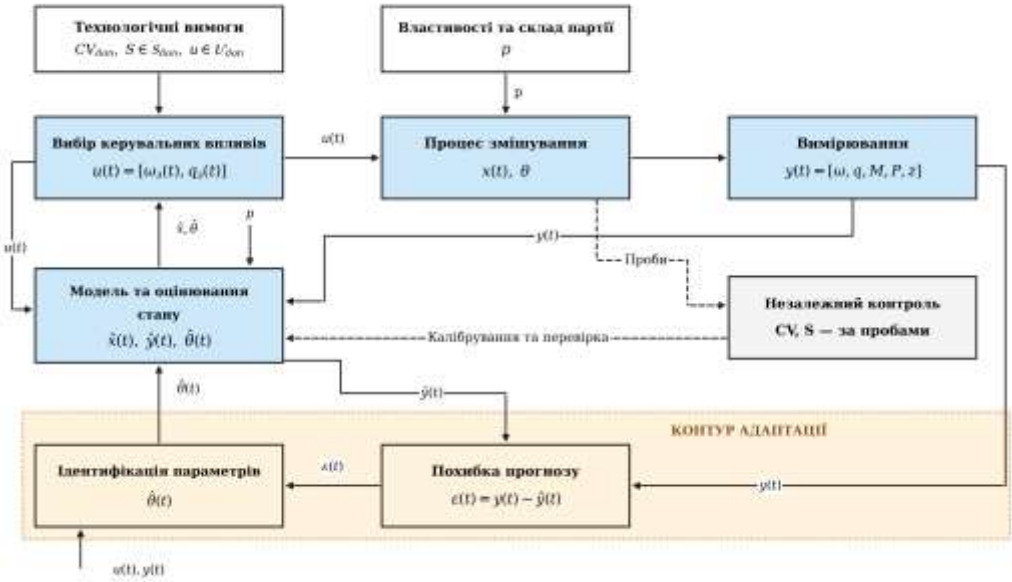

Рис. 1. Структурно-функціональна схема адаптивного керування процесом змішування кормових матеріалів: p – параметри партії; u – керувальні впливи; y – вимірювання; x, $\hat{x}$ – стан і оцінка; θ, θ̂ – параметри моделі; $\hat{y}$ – прогноз; ε – похибка; CV – коефіцієнт варіації; S – показники структури; $\mathcal{U}_{доп}$ – допустимі керування; e – питомі енерговитрати.

Керування задає швидкість і положення робочих елементів, а реакцію процесу описують вимірюваннями:

$$u(t) = [\omega_{(}з_{)}(t), q_{(}з_{)}(t)] \quad (1)$$

$$y(t) = [\omega(t), q(t), M(t), P(t), z(t)] \quad (2)$$

де ω, q – фактичні швидкість і положення; M – крутний момент; P – потужність; z – сигнал складу. Набір вимірювань залежить від оснащення; контури приводів включено до процесу змішування.

За партією p, впливами $u(t)$, вимірюваннями $y(t)$ і параметрами моделі $\hat{\theta}(t)$ формують оцінку стану $\hat{x}(t)$ та прогноз $\hat{y}(t)$. Стан $x(t)$ відображає розподіл і структуру матеріалу, а θ – закономірності його руху та взаємодії.

Однорідність CV і структуру S можна оцінювати за непрямими сигналами лише після експериментальної перевірки їх зв’язку з

вимірюваннями: стабілізація навантаження сама по собі однорідності не доводить. Незалежний контроль пробами потрібний для калібрування моделі.

Адаптація уточнює параметри за похибкою прогнозу та історією даних; за недостатньої інформативності параметри не оновлюють:

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) \quad (3)$$

Режим обирають для мінімізації питомих енерговитрат за дотримання вимог до однорідності, структури та керувань:

$$e(t_f) = (1/m) \int_0^{tf} P_\Sigma(t)\, dt \rightarrow min \quad (4)$$

$$CV(t_f) \leq CV_{(доп)};\ S(t_f) \in S_{(доп)};\ u(t) \in U_{(доп)} \quad (5)$$

де t_f – тривалість циклу, m – маса партії, P_Σ – сумарна потужність врахованих приводів. Завершення циклу визначають за якістю з урахуванням похибки оцінювання, наближення до меж структури вимагає коригування, а точність і енергоефективність схеми належить перевірити експериментально.

Висновки. Обґрунтовано концепцію адаптивного керування, за якої режим змішування змінюють відповідно до оціненого стану матеріалу, прогнозованого поліпшення якості суміші та пов'язаних із цим енерговитрат. Її реалізація потребує експериментального встановлення зв'язку між доступними вимірюваннями й показниками якості, оскільки достовірність такої оцінки визначає обґрунтованість керувальних рішень.

Список використаних джерел

1. Bridgwater J. Mixing of powders and granular materials by mechanical means – A perspective. *Particuology*. 2012. Vol. 10, № 4. P. 397-427. DOI: 10.1016/j.partic.2012.06.002.

2. Costa A., Agazzi A., Perricone V., Savoini G., Lazzari M., Nava S., Tangorra F. M. Influence of different loading levels, cutting and mixing times on total mixed ration (TMR) homogeneity in a vertical mixing wagon during distribution: a case study. *Italian Journal of Animal Science*. 2019. Vol. 18, № 1. P. 1093-1098. DOI: 10.1080/1828051X.2019.1618742.

УДК 637.116

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА ЗІ СТИМУЛЮЮЧИМ ЕФЕКТОМ

Медведський О. В., к.т.н., доцент, aleksmedvedsky@gmail.com
Поліський національний університет

Конструкція колекторів серійних доїльних апаратів здебільшого подібна. Вони різняться лише окремими елементами дизайну, об'ємом молочної камери, виконанням молочного патрубка, а також особливостями системи розподілу тиску між доїльними стаканами. Водночас колекторам загальноприйнятої конструкційної схеми притаманні деякі недоліки, через які не задовольняються усі існуючі санітарно-гігієнічні та зоотехнічні вимоги до машинного доїння корів. Наукові дослідження низки вчених, я правило, спрямовані на покращення режимних та якісних показників машинного доїння шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів колектора [1-3]. Проте, питанням щодо шляхів реалізації стимулюючих подразнень під час машинного доїння корів задля інтенсифікації та повноти виведення із вимені корови молока не приділялось належної уваги.

Важливою умовою машинного доїння є забезпечення повноти видоювання корів [4], особливо на заключних етапах доїння, оскільки таке молоко має максимальну жирність. Лише режимними налаштуваннями відомих систем зі змінною величини вакуумметричного тиску та частоти пульсації досягнути ефекту повного виведення молока досить важко. На думку автора, реалізація механізму стимулюючих мікроколивань тиску під час такту стиснення (рис. 1) у конструкції колектора доїльного апарата дозволить вирішити питання повноти видоювання корів. За інтегральною схемою характеру зміни мікроколивань тиску (рис. 1) розроблено мембрано-клапанний механізм, який без особливих конструкційних змін може бути інтегрований у серійний колектор доїльного апарата (рис. 2).

Принцип роботи наступний. Під час такту стиску, атмосферний тиск із розподільної камери колектора через отвір 7 надходить у простір під мембрану, поступово підвищуючи абсолютне значення тиску. Водночас через канал 6 у простір над мембраною поширюється вакуумметричний тиск. Оскільки під мембраною 4 і над клапаном 3, зберігається атмосферний

тиск, а площа мембрани перевищує площу клапана, під дією різниці тисків клапан підіймається (відкривається). Через з'єднувальний канал 5 повітря потрапляє у простір під дійкою, знижуючи рівень вакуумметричного тиску. Одночасно через канал 6 повітря від молочної камери надходить до простору над мембраною врівноважуючи тиск під мембраною. Завдяки дії атмосферного тиску зовні та пружних властивостей мембрани клапан закривається. За такого положення елементів мембрано-клапанного механізму у піддійковому просторі доїльних стаканів встановлюється вакуумметричний тиск. Оскільки з простору над мембраною через канал 6 видаляється повітря, через певний час сформується достатня різниця тисків для відкривання клапана, і цикл повториться. Впродовж такту стиску подібні мікроколивання, за результатами виконаних досліджень, становлять від 8 до 14 разів залежно від геометричних параметрів розробки.

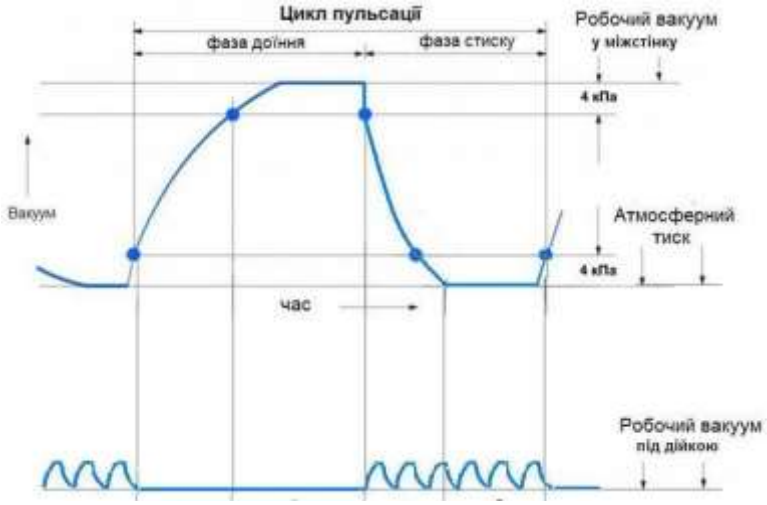

Рис. 1. Динаміка тисків у піддійковому та міжстінковому просторах доїльних стаканів під час машинного доїння корів

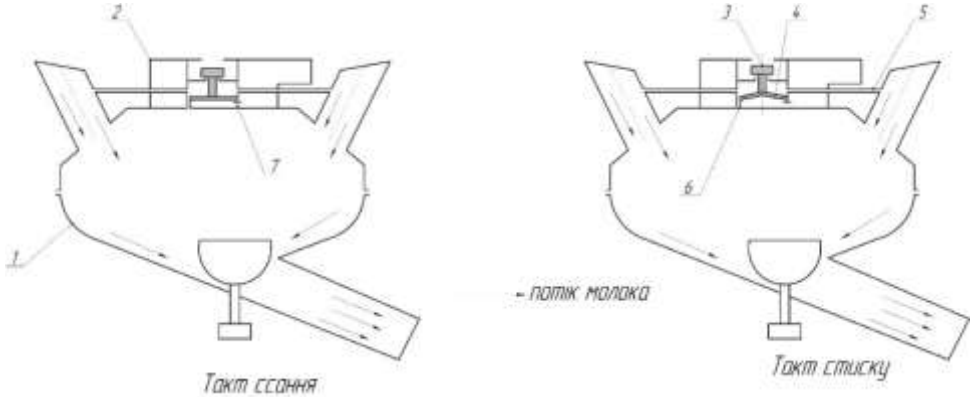

Рис. 2. Структурно-функціональна схема розробленого колектора: 1 – молочна камера; 2 – розподільна камера; 3 – клапан; 4 – мембрана; 5 – з'єднувальна трубка; 6 –дросельний отвір; 7 – сполучний отвір.

Висновки. Завдяки створенню мікроколивань розробленим механізмом виникає додатковий стимулюючий ефект для тварини, що сприятиме підвищенню повноти виведення, особливо на заключних хвилинах машинного доїння корів. Позитивним ефектом можна вважати і зменшення часу на машинне додоювання та машинне доїння в цілому.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Медведський О. В., Ачкевич О. М., Ачкевич В. І. Динаміка вакуумметричного тиску молочної камери колектора доїльного апарата. *Scientific horizons*. 2019. № 5 (78). С. 51–57. doi: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-51-57.

2. J. Čėsna, O. Medvedskyi, Y. Postol, V. Kukharets, M. Zayets, R. Hrudovij, Y. Pantsyr, J. Zarajczyk, D. Zbigniew. Simulation of design parameters of a milking cup with an extended service life. *Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 26. No. 1. P. 243-252. DOI: 10.2478/agriceng-2022-0019.

3. O. Medvedskyi, S. Kukharets, J. Čėsna, O. Sukmaniuk. Simulation of a vacuum system of a small-size milking machine. *Engineering for rural development*. 2021. Vol. 20. P. 1456-1462. DOI: 10.22616/ERDev2021.20.TF099.

4. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика : монографія. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2008. 198 с.

УДК 637.116:637.117:631.171:005.93

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕЖІ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ДОЇЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В АГРОІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМАХ МОЛОЧНОГО СКОТАРСТВА

Мельник В., к.т.н., доц., **Новицький А.,** к.т.н., доц., **Лісецький В.,** к.т.н., доц.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасна трансформація молочного скотарства характеризується інтенсифікацією виробничих процесів, поширенням технологій точного

тваринництва (Precision Livestock Farming) та цифровізацією технологічних операцій. Впровадження сенсорних і автоматизованих систем дозволяє підвищувати продуктивність ферм, покращувати контроль здоров'я тварин та оптимізувати використання ресурсів, однак водночас потребує суттєвих початкових інвестицій [8].

За 2021–2025 роки в Україні середньозважена вартість доїльних установок зросла у 2,25 рази – з 1258,5 тис. грн до 2831,9 тис. грн, а загальний обсяг інвестицій у цей сегмент перевищив 953,5 млн грн. Середня вартість очищувачів та охолоджувачів молока збільшилася у 3,27 рази – з 325,3 до 1064,4 тис. грн/шт. – при загальній кількості придбаної техніки 435 одиниць. У Київській області вартість закуплених доїльних установок досягала пікового значення 3812,4 тис. грн у 2023 році, що пов'язано з введенням в експлуатацію потужних автоматизованих залів і роботизованих модулів.

Зростання капіталоємності обладнання зумовлене переходом від базових лінійних молокопроводів до систем із частотним регулюванням вакууму, потоковим оцінюванням якості молока та швидкісним охолодженням. Зокрема, керування вакуумом відповідно до інтенсивності потоку молока підвищує ефективність доїння та сприяє збереженню стану сосків корів (Reinemann et al., 2021).

Оцінювання доцільності конструкторських модифікацій здійснено на основі моделі сукупної вартості володіння (Total Cost of Ownership, TCO). Вона інтегрує початкові інвестиції (CAPEX), поточні експлуатаційні витрати, видатки на технічне обслуговування, а також збитки від зниження сортності молока та аварійних простоїв. Такий підхід узгоджується з концепцією оцінювання стійкості молочного виробництва за економічними, технологічними та екологічними критеріями [2, 5].

Технологічна готовність комплексу в системі «Людина – Машина» визначається коефіцієнтом готовності, який відображає співвідношення річного напрацювання до суми напрацювання та часу відновлення після відмов. Методологічну основу для моделювання надійності обладнання в системі «Людина – Машина» становлять підходи, застосовані для оцінювання пристроїв приготування й роздавання кормів [6]. Для визначення межі доцільності високоресурсних модифікацій формалізовано розрахунок критичного розміру стада, що зіставляє різницю у капітальних витратах із річною економією операційних видатків та додатковим прибутком від реалізації молока сорту «Екстра».

Порівняльний аналіз технологічних рівнів обладнання засвідчив, що перехід від базових лінійних установок із масляними насосами до модернізованих доїльних залів та автоматизованих комплексів із потоковими датчиками і передохолодженням послідовно підвищує технологічну надійність системи. Це дозволяє зменшити частоту відмов, знизити витрати на технічне обслуговування й ремонт, а також мінімізувати економічні збитки від захворюваності корів і втрати сортності молока. Важливу роль при цьому відіграє надійність допоміжних технологічних систем, зокрема обладнання для приготування й роздавання кормів [1, 3, 6].

Головний економічний ефект автоматизованого обладнання формується за рахунок скорочення споживання електроенергії завдяки впровадженню частотно-регульованого приводу вакуумних агрегатів, зменшення навантаження на компресорні системи та збереження вищої якості молока категорії «Екстра» шляхом застосування двоконтурного передохолодження. Додатковий ефект забезпечується зниженням захворюваності корів на мастит і запобіганням втратам продукції внаслідок стабілізації вакуумного режиму [4, 8].

Аналіз за критерієм ТСО свідчить, що початкові капіталовкладення становлять меншу частку в загальній структурі витрат за період експлуатації, тоді як більша частина припадає на операційні видатки та втрати від погіршення якості продукції. Впровадження автоматизованих систем є економічно обґрунтованим для товарних молочнотоварних ферм, оскільки генерує суттєвий чистий економічний ефект після досягнення критичного розміру поголів’я. Водночас динаміка закупівель свідчить про перехід підприємств від масштабного переоснащення до локальної модернізації зношуваних вузлів і покращення сервісного обслуговування [3, 6, 8].

Список використаних джерел

1. Khmelovskyi, V., Otchenashko, V., Voloshyn, S., & Pinchevska, O. (2020). Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. In Proceedings of the 18th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (pp. 778–783). Latvia University of Life Sciences and Technologies. https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF177

2. Khmelovskyi, Vasyl; Revenko, Yulii; Rebenko, Victor, Potapova, Svitlana Features of grinding and mixing feed components in hammer mill // Engineering for Rural Development. - 2025-05-21. DOI:

10.22616/erdev.2025.24.tf161

3. Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskyi, Yu., & Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. Machinery & Energetics, 14(4), 101–110. https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101

4. Reinemann, D. J., van den Borne, B. H. P., Hogeveen, H., Wiedemann, M., & Paulrud, C. O. (2021). Effects of flow-controlled vacuum on milking performance and teat condition in a rotary milking parlor. Journal of Dairy Science, 104(6), 6820–6831. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19418

5. Revenko Ivan, Khmelovskyi Vasyl, Revenko Yulii, Rebenko Victor, Potapova Svitlana (2023). Justification of parameters affecting increase of hammer crusher productivity. Engineering for rural development. 24-26.05.2023 Jelgava. pp. 714–720. doi: 10.22616/ERDev.2023.22.TF142.

6. Ruzhylo, Z., Novitskii, A., Milko, D., Bulgakov, V., Beloev, I., & Rucins, A. (2022). Mathematical model for reliability assessment of device for preparation and distribution of animal feed as “Man-Machine”. In Proceedings of the 21st International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (Vol. 21, pp. 911–917). Latvia University of Life Sciences and Technologies. https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF288

7. Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2020). An estimate of the effects from precision livestock farming on a productivity index at farm level: Some evidences from a dairy farms’ sample of Lombardy. Animals, 10(10), Article 1781. https://doi.org/10.3390/ani10101781

8. Tuor, M., Jenni, B., Wellnitz, O., & Bruckmaier, R. M. (2022). Reduced liner-open phase and vacuum instead of prestimulation increase parlor efficiency in dairy cows. Journal of Dairy Science, 105(2), 1533–1541. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21170

УДК 631.51:636.085

ЯКІСНИЙ ПЕРЕДПОСІВНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА КОРМІВ ДЛЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ГАЛУЗІ

Міненко С.В. к.т.н., доцент, **Гетьман В.О.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Ефективне функціонування тваринницької галузі значною мірою залежить від стабільності кормової бази, кількості та якості кормів рослинного походження. Важливе місце у структурі кормовиробництва займають кукурудза на силос і зелений корм, багаторічні та однорічні трави, зернофуражні культури, кормові коренеплоди та інші культури. Реалізація їхнього генетичного потенціалу продуктивності визначається не лише сортовими особливостями, удобренням і погодними умовами, а й якістю виконання технологічних операцій, зокрема передпосівного обробітку ґрунту.

Передпосівний обробіток є завершальною технологічною операцією підготовки ґрунту до сівби. Його основне завдання полягає у формуванні такого стану посівного шару, який забезпечує сприятливі водний, повітряний і тепловий режими, оптимальні умови для загортання насіння, його контакту з ґрунтом, проростання та подальшого розвитку кореневої системи рослин [1, 2]. Дослідження показують, що фізичний стан посівного шару, зокрема його щільність, вологість, структурно-агрегатний склад та опір проникненню коренів, безпосередньо пов'язаний із рівномірністю формування сходів [2].

Особливого значення якість підготовки ґрунту набуває під час вирощування дрібнонасінних кормових культур, насамперед багаторічних бобових і злакових трав. Для їх успішного проростання необхідний достатньо щільний, вирівняний і дрібногрудкуватий посівний шар, який забезпечує належний контакт насіння з ґрунтом. Надмірно розпушений ґрунт може спричинити загортання насіння на надмірну глибину, тоді як значна кількість великих грудок погіршує рівномірність його розподілу та надходження вологи. Тому формування оптимального насіннєвого ложа є важливою передумовою одержання дружних і рівномірних сходів кормових культур [3].

Якісний передпосівний обробіток повинен забезпечувати вирівнювання поверхні поля, розпушення ґрунту на задану глибину, руйнування ґрунтової кірки, знищення проростків бур'янів, подрібнення грудок та одночасне створення ущільненого насіннєвого ложа. При цьому необхідно максимально зберігати вологу у верхньому шарі ґрунту. За рекомендаціями НААН України, передпосівний обробіток має проводитися переважно на глибину загортання насіння, а застосування комбінованих агрегатів дає змогу забезпечити вирівняність поля, необхідний дрібногрудкуватий стан ґрунту та рівномірність глибини обробітку [4]. Одним із визначальних показників якості посівного шару є його структурно-агрегатний склад. Надмірне подрібнення ґрунту є небажаним, оскільки може підвищувати небезпеку утворення ґрунтової кірки, вітрової та водної ерозії. Водночас значна частка великих грудок погіршує роботу посівних машин і створює нерівномірні умови проростання насіння. У рекомендаціях FAO зазначається, що сприятливі умови для насіння формуються тоді, коли навколо нього знаходяться відносно однорідні ґрунтові агрегати, що забезпечують необхідний контакт насіння з вологою та водночас достатню аерацію [5].

Важливим завданням передпосівного обробітку є збереження продуктивної вологи. Особливо актуальним це є в умовах нестійкого зволоження, підвищення середніх температур та збільшення частоти весняних і літніх посух. Надмірна кількість проходів машинно-тракторних агрегатів сприяє пересиханню верхнього шару ґрунту та додатковому його ущільненню. Затримка між передпосівним обробітком і сівбою також може призводити до втрати вологи, що негативно впливає на польову схожість насіння. Тому доцільним є мінімізація часу між підготовкою ґрунту та сівбою, а в окремих технологіях — суміщення цих операцій.

Сучасний напрям удосконалення технологій передпосівної підготовки полягає у використанні комбінованих ґрунтообробних агрегатів. За один прохід такі машини можуть виконувати декілька технологічних операцій: розпушення, вирівнювання поверхні, подрібнення грудок, ущільнення насіннєвого ложа та остаточне формування посівного шару. Це дає змогу скоротити кількість проходів техніки по полю, зменшити ущільнення ґрунту, непродуктивні втрати вологи, витрати пального та тривалість виконання технологічних операцій. У рекомендаціях щодо проведення польових робіт зазначено, що поєднання окремих технологічних операцій здатне істотно

підвищувати продуктивність агрегатів і знижувати витрати пального порівняно з їх роздільним виконанням [6].

Водночас підвищення інтенсивності обробітку не завжди означає покращення умов для проростання насіння. Результати досліджень свідчать, що різні системи обробітку по-різному впливають на контакт насіння з ґрунтом, а надмірно інтенсивний обробіток не обов'язково забезпечує оптимальний стан посівного шару [7]. Тому вибір технології та комплексу машин повинен здійснюватися з урахуванням типу ґрунту, його вологості й щільності, попередника, культури, розміру насіння та погодних умов конкретного року.

Особливо важливо враховувати особливості конкретної кормової культури. Наприклад, під кормові коренеплоди необхідно забезпечити добре вирівняний, дрібногрудкуватий посівний шар та однорідну глибину обробітку. Для зернофуражних культур основне значення мають рівномірність загортання насіння та збереження вологи. Для багаторічних трав важливим є формування щільного насіннєвого ложа, оскільки дрібне насіння таких культур особливо чутливе до надмірної глибини загортання [3, 4].

Від рівномірності польових сходів значною мірою залежить подальше формування посіву. Рослини, які з'являються одночасно, знаходяться у більш рівних умовах використання вологи, поживних речовин і сонячної енергії. Нерівномірні сходи спричиняють диференціацію рослин за темпами росту та розвитку, що може негативно впливати на врожайність і технологічну якість зеленої маси. Саме тому підготовку ґрунту до сівби слід розглядати не як ізольовану механічну операцію, а як складову цілісної системи управління продуктивністю кормових агроценозів.

Ефективне виробництво кормів передбачає не лише одержання максимальної кількості зеленої маси або зерна, але й зниження їх собівартості. Частка витрат, пов'язаних із виконанням механізованих операцій, залишається суттєвою складовою технологічного процесу. Тому застосування ресурсоощадних способів обробітку, широкозахватних і комбінованих агрегатів, систем точного землеробства та сучасних засобів контролю глибини обробітку може стати важливим резервом підвищення економічної ефективності кормовиробництва.

Отже, якісний передпосівний обробіток ґрунту є однією з основних передумов формування високопродуктивних посівів кормових культур та створення стабільної кормової бази тваринницької галузі. Його виконання

повинно забезпечувати оптимальний структурно-агрегатний склад посівного шару, збереження ґрунтової вологи, рівномірну глибину загортання насіння, належний контакт насіння з ґрунтом і мінімальне ущільнення поля. Перспективним напрямом подальшого вдосконалення технологій є застосування комбінованих агрегатів та ресурсоощадних систем обробітку, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов і біологічних особливостей кормових культур.

Список використаних джерел

1. Guérif J., Richard G., Dürr C., Machet J. M., Recous S., Roger-Estrade J. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. Soil and Tillage Research. 2001. Vol. 61, № 1–2. P. 13–32. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00187-8.

2. Atkinson B. S., Sparkes D. L., Mooney S. J. Using selected soil physical properties of seedbeds to predict crop establishment. Soil and Tillage Research. 2007. Vol. 97, № 2. P. 218–228. DOI: 10.1016/j.still.2007.09.017.

3. Horrocks R. D., Vallentine J. F. Harvested Forages. San Diego : Academic Press, 1999. 426 p.

4. Кормові буряки: особливості технології вирощування та передпосівного обробітку ґрунту / Національна академія аграрних наук України. URL: https://naas.gov.ua/newsall/newsnaan/?ELEMENT_ID=6371 (дата звернення: 02.10.2026).

5. Soil management. Tillage practices for seedbed-rootbed preparation / Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://www.fao.org/4/x5867e/x5867e05.htm (дата звернення: 02.10.2026).

6. Рекомендації щодо проведення весняно-польових робіт в умовах 2022 року. URL: https://vin.gov.ua/dep-apr/rekomendatsii/48807-rekomendatsiyi-shchodo-provedennya-vesnyano-polovykh-robit-v-umovakh-2022-roku (дата звернення: 02.10.2026).

7. Blunk S., Bussell J., Sparkes D., de Heer M. I., Mooney S. J., Sturrock C. J. The effects of tillage on seed-soil contact and seedling establishment. Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 206. Art. 104757. DOI: 10.1016/j.still.2020.104757.

УДК 004.896:637.112.5

DAIRY 4.0: ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ МОЛОЧНОГО ТВАРИННИЦТВА

Потапова С.Є., к.т.н., доцент, potapova@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасна молочна галузь переживає технологічну трансформацію, зумовлену стрімким розвитком технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), Інтернет речей (IoT), робототехніка, хмарні обчислення та точне тваринництво (PLF). Головними рушійними силами цих змін є швидке зростання молочного поголів'я, гостра нестача кваліфікованої робочої сили, підвищені вимоги суспільства до благополуччя тварин та необхідність досягнення екологічної стійкості.

Розглянемо декілька ключових технологічних зрушень, які перетворюють сучасну молочну ферму на високотехнологічний цифровий хаб. По-перше, використання сенсорних технологій для моніторингу стану тварин в режимі реального часу. Сучасні смарт-ферми відмовляється від усередненого підходу до всього стада на користь індивідуального контролю кожної корови 24/7. Для цього застосовується широкий спектр біосенсорів: нашийники, вушні RFID-мітки, крокоміри, акселерометри та румінальні болюси. Ці датчики безперервно вимірюють фізіологічні та поведінкові показники тварини, такі як рівень загальної рухової активності; тривалість та частоту жуйки (румінації); час та частоту споживання корму і води. Будь-які відхилення від звичного графіка дозволяють виявити розлади здоров'я або початок теплового стресу на ранніх стадіях, ще до того, як клінічні симптоми стануть помітні для людини.

Наступний етап – це використання комп'ютерного зору та штучного інтелекту замість візуального огляду. Відеокамери у поєднанні з алгоритмами глибокого навчання стають цілодобовими «очима» фермера. Комп'ютерний зір в автоматичному режимі здатен вирішувати низку складні завдань: індивідуальна ідентифікація для визначення конкретної корови у групі; оцінка вгодованості; аналіз ходи та виявлення кульгавості на ранніх етапах розвитку патологій кінцівок; моніторинг поведінки, що

виявляться у автоматичному обліку часу, який корова проводить стоячи, лежачи, п’ючи воду, чи споживаючи корм.

Наступне впровадження – це використання штучного інтелекту для прогнозування та попередження захворювань. Перший етап – збір даних. Сенсори доїльних роботів фіксують електропровідність молока, рівень надою, кількість соматичних клітин. Ці дані об'єднуються з показниками датчиків (температура, пульс, румінація), відеокамер (поведінка, хода) та сенсорів клімат-контролю. Далі відбувається первинна обробка даних: спеціальні алгоритми фільтрують шуми, видаляють дублікати, масштабують і нормалізують показники, а також заповнюють пропущені значення для забезпечення чистоти даних. Після цього запускається етап моделювання. На підготовлених даних навчаються алгоритми машинного навчання, а також штучні нейронні мережі і моделі глибокого навчання. На основі проведеного аналізу формується прогноз захворюваності. Система вираховує рівень ризику та оцінює ймовірність виникнення маститу, кульгавості, метаболічних розладів чи респіраторних захворювань. Наступним кроком є раннє сповіщення. Фермер та ветеринар отримують сповіщення через мобільний додаток або SMS із зазначенням рівня ризику та точної часової позначки. Кінцевим результатом є ветеринарне втручання та зворотний зв'язок. Фахівець проводить клінічний огляд, призначає профілактичні заходи або коригує раціон. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити витрати на лікування, мінімізувати використання антибіотиків та запобігти зниженню продуктивності тварин.

Однією з найпрогресивніших концепцій розумного тваринництва є «цифрові двійники». Це динамічна віртуальна модель, яка в режимі реального часу відтворює фізичний стан тварин, інфраструктуру корівника та навколишнє середовище. Мережа датчиків постійно оновлює параметри здоров'я, продуктивності та мікроклімату у віртуальній копії. Віртуальна модель дозволяє змоделювати зміни в раціоні, оцінити ризики теплового стресу або змінити режим вентиляції до того, як ці рішення будуть реалізовані на фізичній фермі. Цифровий двійник створює для менеджменту ферми віртуальний центр підтримки прийняття рішень, зводячи складні фізичні процеси до зрозумілих прогностичних панелей.

Попри високий потенціал, масове впровадження smart-технологій стикається із суттєвими перешкодами. Одна з них – це проблема сумісності та відсутність стандартів даних. Датчики, роботи-дояри та програмне забезпечення від різних виробників часто функціонують у закритих

екосистемах і не можуть обмінюватися даними через відсутність єдиних форматів і протоколів. По-друге, це проблема узагальнення алгоритмів. Більшість моделей ШІ розробляються та навчаються на обмежених вибірках даних з декількох великих комерційних ферм. При перенесенні цих моделей на інші умови господарювання точність прогнозів може суттєво знижуватися. По-третє, початкові капітальні витрати на закупівлю та обслуговування обладнання залишаються високими.

Не зважаючи на ці виклики, молочна індустрія впевнено крокує у фазу Dairy 4.0 – цілісну цифрову екосистему, яка об'єднує мережі IoT, автоматизованих роботів для доїння та годівлі, хмарні обчислення, аналітику Big Data та блокчейн для простежуваності якості продукції. Саме такий підхід гарантує високий рівень благополуччя тварин, екологічну стійкість та економічну рентабельність виробництва.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Hassoun, A., Garcia-Garcia G., Trollman, H. *et al*. Birth of dairy 4.0: Opportunities and challenges in adoption of fourth industrial revolution technologies in the production of milk and its derivatives. *Current Research in Food Science, Volume 7, 2023, 100535.* https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100535.

2. Debapritam Deb, Manish Kumar Verma, Vikas Diwakar, Munish Gangwar. Smart dairy farming: Automation, artificial intelligence and precision livestock technologies: Current advances, challenges and future perspectives. International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry. *Vol. 11, Issue 7 (2026).* https://www.doi.org/10.22271/veterinary.2026.v11.i7d.3629

УДК 631.22.01:636.083.312.3

ЧОМУ СТАНДАРТНІ БОКСИ ШКОДЯТЬ ПРОДУКТИВНОСТІ: ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ DREAMSTALL

Потапова С.Є., к.т.н., доцент, potapova@nubip.edu.ua
Заболотько О.О., к.т.н., доцент, zabolotko@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Зручне місце для відпочинку є критично важливим для молочних корів, оскільки воно сприяє підвищенню надоїв молока, здоров'ю ратиць та загальному довголіттю тварини. Фізіологічний зв'язок між рівнем комфорту тварини та її продуктивністю має чітке наукове пояснення. Коли корова перебуває у стані спокою та лежить, потік крові до її вимені суттєво збільшується, що безпосередньо стимулює синтез молока. Одночасно з цим тривалий відпочинок у положенні лежачи знімає критичне навантаження із задніх ніг тварини. Це значно покращує її фізичний стан та подовжує тривалість продуктивного життя.

У дикій природі корови звикли стояти з високо піднятою головою, щоб контролювати навколишній простір і вчасно помічати загрозу з боку хижаків. Однак у стандартних корівниках горизонтальна металева труба у верхній частині боксу – надшийний брус – повністю унеможливлює таку природну поведінку. До того ж, коли корова намагається піднятися на ноги, ця перешкода стає причиною болісних зіткнень. Іншою критичною проблемою є розмір боксу. Найчастіше вони надто вузькі – їхня ширина дорівнює ширині тіла корови або навіть менша за неї, що унеможливлює прийняття твариною природної та зручної пози під час лежання. Спроба спростити інженерні рішення за рахунок ігнорування природної поведінки худоби створює для тварин систематичний фізичний та психологічний стрес, перетворюючи базовий відпочинок на джерело травм і постійного дискомфорту.

Для вирішення цієї проблеми компанія Cowhouse International, розробила Dreamstall – систему боксового обладнання для безприв’язного утримання корів, з урахуванням природних поведінкових і фізіологічних потреб корів.

Розглянемо основні особливості цього обладнання. Однією з переваг є відсутність класичної надшийної труби (бруса). Замість неї встановлено

два гнучких сферичних елементи з проміжком у 40 см. Це дозволяє корові вільно підіймати голову і природно озиратися, почуваючись у безпеці (як у природному середовищі). Традиційні металеві бічні дуги замінено на дві нижчі горизонтальні гнучкі рами з відстанню 90 см між ними. Коли корова лягає або встає, вона не вдаряється об металеві труби. Це дозволяє тварині приймати будь-яку зручну природну позу. Рекомендована ширина боксу становить від 140 до 160 см (ширше за стандартні рішення), що покращує комфорт.



Рис. 1. Корівник з боксами Dreamstall

Практичний досвід використання боксів Dreamstall на європейських фермах (зокрема у Нідерландах та Франції) демонструє значні покращення як у поведінці тварин, так і в менеджменті ферми. Фермери, які замінили лише частину боксів у приміщенні на Dreamstall, відзначають, що корови завжди обирають саме ці бокси. Якщо всі місця Dreamstall зайняті, корови буквально стоять поруч і чекають, поки звільниться місце, ігноруючи традиційні вузькі бокси. Завдяки гнучким сферичним елементам та відсутності жорсткої верхньої металевої конструкції (шийної труби), повністю зникає проблема синців, забитих місць та травм хребта у тварин при підйомі. Корови поводяться значно спокійніше. Попри значну ширину стійла, корови не лягають по діагоналі чи впоперек. Сферичні фіксатори обмежують просування вперед, а гнучкі горизонтальні напрямні рами

спрямовують корову так, що вона лягає чітко вздовж боксу. Завдяки тому, що корова лежить рівно, гній потрапляє безпосередньо на гнойовий прохід, а зона відпочинку залишається сухою і чистою. Тривалий та спокійний відпочинок покращує жуйку (румінацію) та кровообіг у вимені, що позитивно позначається на об'ємах щоденних надоїв. Молоді корови (нетелі), які часто бояться заходити в класичні металеві стійла, адаптуються до Dreamstall майже миттєво через відкритість та видимість простору навколо.

Досвід впровадження інноваційної системи боксів Dreamstall від Cowhouse International в Україні наразі перебуває на етапі активного ознайомлення та перших пілотних інтеграцій у передових господарствах. Оскільки рішення є відносно новим для світового ринку (система отримала Animal Welfare Award на EuroTier), українські молочні комплекси, які традиційно орієнтуються на європейські стандарти комфорту тварин, розглядають її як наступний крок в еволюції безприв'язного утримання.

Досвід розробки системи Dreamstall доводить, що майбутнє ефективного тваринництва полягає не у підкоренні тварини штучним обмеженням, а у створенні умов, що сприяють виявленню її природної поведінки. Розуміння природних потреб худоби прямо конвертується у здоров'я стада та високі економічні показники ферми.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Dreamstall stall divider. // Cow House. URL: https://www.cowhouse.nl/en/lying-down/dreamstall-stall-divider / (дата звернення: 31.10.2026).

2. Freedom to move and lie down in a Dreamstall stall divider // Your UGB Concept. URL: https://ugaatbouwen.com/news/freedom-to-move-and-lie-down-in-a-dreamstall-stall-divider/ / (дата звернення: 31.10.2026).

УДК 631.171:636

МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА

Ребенко В.І., к.т.н., доц., rebenko@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасне тваринництво функціонує в умовах зростання вимог до продуктивності, якості продукції, енергоефективності, ветеринарної безпеки та добробуту тварин. Традиційні системи управління фермами часто не забезпечують оперативного реагування на зміни поведінки, фізіологічного стану та потреб окремих тварин. Водночас технології точного тваринництва (Precision Livestock Farming, PLF) дозволяють у режимі реального часу збирати дані про здоров'я, продуктивність, репродукцію, поведінку та вплив на довкілля, перетворюючи ферму на керовану кіберфізичну систему.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переходу від фрагментарної автоматизації окремих процесів до інтегрованих високотехнологічних модулів. Такі модулі мають об'єднувати апаратне забезпечення, програмні алгоритми, бази даних, засоби зв'язку та інтерфейси прийняття рішень. Особливого значення набуває моделювання як метод проєктування, оцінювання та оптимізації таких систем до їх фізичної реалізації.

Аналіз останніх досліджень. У науковій літературі точне тваринництво визначається як поєднання сенсорних технологій, алгоритмів, інтерфейсів і прикладних систем для управління тваринництвом. Найбільш поширеними напрямами є моніторинг здоров'я, виявлення охоти та отелення, контроль поведінки, автоматизована годівля, оцінювання добробуту та прогнозування продуктивності. Для свинарства та молочного скотарства ефективно застосовуються відеокамери, мікрофони, акселерометри, RFID-ідентифікатори, тепловізійні камери, датчики ваги та споживання корму й води.

Систематичні огляди засвідчують, що сенсорні технології здатні виявляти зміни активності, пози тіла, годівлі, водоспоживання та інших поведінкових ознак, які є ранніми індикаторами порушень здоров'я або стресу. Водночас поширеними проблемами залишаються недостатня

валідація алгоритмів у різних виробничих умовах, слабка узагальнюваність моделей, висока вартість впровадження та потреба в інтеграції різнорідних потоків даних. Це підтверджує доцільність створення уніфікованих модульних рішень із адаптивною архітектурою.

Мета дослідження – обґрунтувати концепцію та розробити модель високотехнологічного модуля для тваринництва, який забезпечує моніторинг стану тварин, керування мікрокліматом і годівлею, прогнозування ризиків та підтримку управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. Високотехнологічний тваринницький модуль пропонується розглядати як автономний або інтегрований у ферму функціональний комплекс, призначений для утримання, обслуговування та контролю певної групи тварин. Модуль включає чотири взаємопов'язані підсистеми: сенсорну, виконавчу, обчислювально-аналітичну та інформаційно-керуючу.

Сенсорна підсистема формує цифровий образ об'єкта управління. Вона може містити датчики температури, вологості, концентрації аміаку, вуглекислого газу, освітленості, шуму, пилу; системи відеоспостереження та комп'ютерного зору; мікрофони для акустичного аналізу; вагові платформи; електронні годівниці та напувалки; носимі датчики активності, температури тіла, локалізації та жуйної активності. Отримані сигнали перетворюються на структуровані часові ряди, які слугують основою для виявлення відхилень.

Виконавча підсистема реалізує регулювання мікроклімату, вентиляції, опалення, освітлення, вологості, подачі корму та води, прибирання приміщень і локального обслуговування тварин. Керування має бути адаптивним: параметри мікроклімату визначаються не лише за фіксованими нормами, а й з урахуванням вікової групи, породних особливостей, щільності посадки, добової поведінки, фактичного тепловиділення та прогнозу зовнішніх погодних умов.

Обчислювально-аналітична підсистема виконує фільтрацію даних, виявлення аномалій, класифікацію поведінкових станів, прогнозування захворювань, оцінювання добробуту та оптимізацію режимів годівлі. Математичну основу моделі можна представити як сукупність залежностей між вхідними змінними середовища $\boldsymbol{X}$, параметрами тварини $\boldsymbol{A}$, керуючими діями $\boldsymbol{U}$ та цільовими показниками $\boldsymbol{Y}$:

$$\boldsymbol{Y = f(X, A, U, t) + varepsilon,}$$

де $\boldsymbol{Y}$ – прогнозовані показники продуктивності, здоров'я, добробуту

або витрат; $\boldsymbol{X}$ – параметри мікроклімату, годівлі та поведінки; $\boldsymbol{A}$ – індивідуальні характеристики тварини; $\boldsymbol{U}$ – керуючі впливи; $\boldsymbol{t}$ – час; $\boldsymbol{varepsilon}$ – випадкова складова. Для задач класифікації доцільно застосовувати методи машинного навчання, зокрема градієнтний бустинг, випадковий ліс, нейронні мережі та ансамблеві моделі. Для прогнозування часових рядів перспективними є рекурентні та трансформерні архітектури, а для інтерпретації результатів – пояснювані алгоритми.

Інформаційно-керуюча підсистема забезпечує візуалізацію стану модуля, формування попереджень, побудову сценаріїв «що-якщо», ведення електронних карт тварин та передачу даних у систему управління підприємством. Важливим елементом є цифровий двійник модуля – віртуальна модель, яка відображає поточний стан тварин, обладнання та мікроклімату й дозволяє перевіряти управлінські рішення до їх застосування.

Критеріями ефективності модуля пропонується вважати: приріст середньодобового приросту або надою; зниження витрат корму на одиницю продукції; зменшення захворюваності та вибракування; скорочення часу реагування персоналу; зниження енергоспоживання; покращення показників добробуту тварин; зменшення викидів аміаку та парникових газів. Комплексний критерій може мати вигляд:

$$\boldsymbol{K = \sum_{i=1}^{n} w_i k_i \rightarrow max\,,\quad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1,\quad w_i > 0}$$

де n – кількість врахованих критеріїв, $\boldsymbol{k_i}$ – нормовані часткові показники ефективності, а $\boldsymbol{w_i}$ – вагові коефіцієнти, що визначаються експертно або методом аналізу ієрархій, $\boldsymbol{max}$ – умова пошуку найкращого варіанта проєктування або режиму керування. Такий підхід дозволяє узгодити економічні, зоотехнічні, ветеринарні та екологічні цілі.

Особливу увагу слід приділити валідації моделей. Модель, навчена на даних однієї ферми, може мати низьку точність в інших умовах через відмінності у породах, раціонах, обладнанні, кліматі та методах ведення обліку. Тому необхідне формування репрезентативних датасетів, розмежування навчальної, валідаційної та тестової вибірок, кросвалідація за фермами й періодами, а також моніторинг дрейфу даних після впровадження.

Висновки. Моделювання високотехнологічних модулів для тваринництва є необхідною умовою створення адаптивних, енергоефективних і твариноорієнтованих виробничих систем. Інтеграція сенсорного моніторингу, автоматизованого керування, прогнозної

аналітики та цифрового двійника дозволяє перейти від реактивного управління до превентивного. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку стандартизованих протоколів обміну даними, валідацію алгоритмів у реальних виробничих умовах, оцінювання економічної ефективності та забезпечення кібербезпеки агропромислових інформаційних систем.

Список використаних джерел

1. Norton T., Chen C., Larsen M. L. V., Berckmans D. Precision livestock farming: building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. Animal. – 2019. – Vol. 13, No. 12. – P. 3009–3017.

2. Berckmans D. General introduction to precision livestock farming. Animal Frontiers. – 2017. – Vol. 7, No. 1. – P. 6–11.

3. Stygar A. H. et al. A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. Frontiers in Veterinary Science. – 2021.

4. Tullo E., Finzi A., Guarino M. Review: Environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy. Science of The Total Environment. – 2019. – Vol. 650. – P. 2771–2780.

5. Halachmi I., Guarino M., Bewley J., Pastell M. Smart animal husbandry: precision livestock farming. Animal Frontiers. – 2019. – Vol. 9, No. 2. – P. 3–4.

6. FAO. Precision livestock farming: an overview on the application in extensive systems. – 2025.

7. FAO. Application of Precision Technologies to Characterize Animal Behavior: A Review. – 2024.

УДК 631.3:636

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ КОРІВ НА РОБОТИЗОВАНІЙ ФЕРМІ

Ребенко В.І., к.т.н., доц., rebenko@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Впровадження автоматизованих доїльних систем (АДС) докорінно змінює організацію технологічних процесів на молочних фермах: доїння стає добровільним для тварини, а керування стадом переходить від періодичних технологічних операцій до безперервного моніторингу та керування в реальному часі [1]. У таких умовах проектування приміщення, організація переміщення корів, розміщення годівельних, відпочинкових і доїльних зон перестають бути окремими інженерними задачами й формують єдину систему «тварина – середовище – обладнання – керування» [2].

Практика показує, що ефективність роботизованої ферми визначається не лише продуктивністю робота-дояра, а передусім тим, наскільки просторово-планувальні рішення відповідають поведінковим потребам корів. Вільний рух тварин між зонами годівлі, відпочинку, водопою та доїння забезпечує більшу свободу вибору, знижує негативний вплив ієрархії у стаді та сприяє підвищенню добового надою порівняно з примусовою організацією руху [3,4]. Водночас неправильне співвідношення кількості корів, доїльних станцій, місць відпочинку та пропускної здатності проходів призводить до збільшення часу очікування, стресу, зниження частоти доїнь і зростання витрат на вигін тварин [1, 5].

Отже, ***актуальність теми*** зумовлена необхідністю розроблення формалізованих моделей, які дозволяють ще на етапі проектування оцінити пропускну здатність ферми, завантаження роботів, тривалість перебування корів у різних функціональних зонах, ризики скупчення тварин та вплив параметрів утримання на продуктивність і добробут стада.

Мета дослідження – розробити імітаційну модель системи утримання корів на роботизованій фермі для визначення раціональних параметрів планування приміщення, організації переміщення тварин та завантаження технологічного обладнання.

Для досягнення мети поставлено такі ***завдання***:

- систематизувати функціональні зони роботизованої ферми та чинники, що визначають рух корів у приміщенні;
- розробити структурну схему системи утримання з урахуванням зон годівлі, відпочинку, водопою, доїння, ветеринарних і сортувальних операцій;
- побудувати математичну та імітаційну модель руху корів як системи масового обслуговування;
- дослідити вплив поголів'я, кількості роботів-доярів, типу організації руху та пропускної здатності проходів на показники ефективності;
- сформулювати рекомендації щодо раціонального проектування роботизованої ферми.

Об'єктом дослідження є технологічна система утримання молочних корів на фермі з автоматизованим доїнням. ***Предметом*** дослідження є закономірності формування потоків тварин, завантаження обладнання та функціонування функціональних зон роботизованого приміщення.

У дослідженні використано ***методи*** системного аналізу, теорії масового обслуговування, імітаційного моделювання, статистичної обробки даних та порівняльного аналізу технологічних рішень. Теоретичною основою є підхід, за якого роботизована ферма розглядається як мережа черг: корова послідовно або паралельно користується ресурсами ферми – годівельним столом, місцем лежання, водопоєм, роботом-дояром, сортувальними воротами [5].

Структурна модель системи утримання

Роботизована ферма може бути представлена як сукупність взаємопов'язаних підсистем:

- годівельна підсистема – годівельний стіл, змішувач-роздавач кормів, роботизована система роздавання або змішування раціону;
- зона відпочинку – бокси, глибока підстилка або комбіновані зони лежання, які повинні забезпечувати достатню площу та комфорт для тривалого відпочинку тварин;
- зона водопою – групові напувалки, розташовані так, щоб уникнути конкуренції та заторів;
- доїльна підсистема – один або кілька роботів-доярів, переддоїльна зона очікування, зона виходу після доїння;
- підсистема сортування та ветеринарного контролю – селекційні

ворота, зона відділення хворих тварин, сухостійних корів і тварин перед отеленням;

- підсистема прибирання та клімат-контролю – роботизовані скребки, вентиляція, освітлення, логістичні проходи.

Принциповою відмінністю роботизованої ферми є те, що корова самостійно обирає час відвідування доїльної станції. Тому в моделі необхідно враховувати не тільки середній час доїння, а й поведінкову мінливість: добову ритмічність, соціальний ранг тварини, стан здоров'я, лактаційну стадію, доступність корму та комфортність шляхів переміщення [3, 1].

Організація переміщення корів

У роботизованих приміщеннях застосовують три основні варіанти організації руху тварин: вільний, направлений і комбінований (напіввільний) [6, 7,8].

Вільний рух передбачає, що корова самостійно переміщується між кормовим столом, боксами та роботом. Він забезпечує вищу свободу вибору, кращий добробут і менший вплив соціальної ієрархії, однак потребує частіше вигону корів, які рідко відвідують робот [3, 1]. Направлений рух передбачає проходження твариною робота або селекційних воріт для доступу до корму чи зони відпочинку. Така схема забезпечує керованість потоку, але збільшує час стояння та може спричиняти стрес у тварин нижчого соціального рангу [5, 7]. Комбінований рух поєднує елементи обох систем і дозволяє здійснювати сортування без повного обмеження переміщення [6].

Для більшості господарств раціональною є модель вільного або комбінованого руху з достатньою зоною перед роботом. Рекомендується передбачати вільний простір перед доїльною станцією, відсутність гострих поворотів, широкі проходи та альтернативні маршрути, що особливо важливо для слабких, кульгаючих і нижчих за ієрархією тварин [7, 9, 10].

Математична постановка моделі

Систему утримання можна формалізувати як мережу масового обслуговування. Нехай стадо складається з N корів, а ферма має m роботів-доярів. Кожна корова протягом доби здійснює k відвідувань доїльної станції. Тоді інтенсивність надходження заявок на доїння визначається як

$$\lambda = (N \times k) / 24,$$

де λ – середня кількість відвідувань робота за одну годину.

Якщо середня тривалість одного циклу доїння становить ts, то інтенсивність обслуговування одним роботом становить

$$\mu = 1 / ts.$$

Коефіцієнт завантаження системи доїння визначається за формулою

$$\rho = \lambda / (m \times \mu).$$

Для стабільної роботи ферми має виконуватися умова $\rho < 1$.

У практичному проектуванні доцільно закладати резерв пропускної здатності, оскільки нерівномірність відвідувань, технічні зупинки, захворювання тварин і сезонні коливання продуктивності можуть суттєво збільшувати чергу. Модель також має враховувати час підходу корови до робота, очікування, підготовку вимені, доїння та вихід зі станції.

Для оцінки якості функціонування системи використовуються такі критерії: середня кількість доїнь на корову за добу; середня тривалість очікування перед роботом; завантаження роботів-доярів; кількість корів, яких необхідно виганяти примусово; добовий надій на корову та на робот; час перебування тварин у зоні годівлі та відпочинку; питомі енергетичні й трудові витрати на одиницю молока.

Імітаційна модель руху корів

Імітаційна модель будується за принципом агентного моделювання: кожна корова розглядається як автономний агент із власними параметрами – продуктивністю, лактаційною стадією, соціальним рангом, станом здоров’я, швидкістю переміщення та добовим розкладом активності.

Алгоритм моделювання включає такі етапи:

- формування віртуального стада з заданим поголів’ям і розподілом характеристик тварин;
- генерування добового графіка потреб кожної корови у кормі, воді, відпочинку та доїнні;
- моделювання переміщення агентів між функціональними зонами з урахуванням пропускної здатності проходів;
- формування черги до роботів-доярів та розрахунок часу обслуговування;
- реєстрація відмов від відвідування робота, конфліктів між тваринами та затримок у зонах очікування;
- обчислення вихідних показників ефективності та добробуту;
- багатократне відтворення модельних добових циклів для

отримання статистично надійних результатів.

Такий підхід узгоджується з концепцією оптимізації планування роботизованого приміщення на основі теорії черг, марковських процесів і евристичної оптимізації, яка дозволяє поєднати поведінкові потреби тварин, добробут та ефективність використання приміщень [5].

Моделювання дозволяє визначити раціональне співвідношення між поголів'ям, кількістю роботів і ємністю функціональних зон. Для ферми з вільним рухом тварин критично важливими є достатня кількість місць відпочинку, ширина проходів, наявність відкритої зони перед роботом і зручні маршрути для вигону корів, які рідко відвідують доїльну станцію [1, 9 ,10].

Очікується, що збільшення кількості корів на один робітник-робот понад раціональний рівень призведе до зростання черги, зниження частоти доїнь і погіршення добробуту тварин. Натомість надлишкова кількість роботів збільшує капітальні витрати без пропорційного приросту продуктивності. Тому оптимальне рішення повинно забезпечувати компроміс між продуктивністю, капітальними й експлуатаційними витратами та показниками добробуту.

Важливим результатом моделювання є також можливість прогнозувати вплив окремих рішень: розширення зони перед роботом, зміни схеми воріт, збільшення кількості напувалок, впровадження окремої зони для новотільних і хворих тварин. Це дає змогу ще до будівництва або реконструкції ферми оцінити альтернативні варіанти та зменшити ризик помилкових інвестицій.

Висновки

1. Систему утримання корів на роботизованій фермі доцільно розглядати як складну динамічну систему «тварина – середовище – обладнання – керування», у якій ключову роль відіграють потоки переміщення корів між зонами годівлі, відпочинку, водопою та доїння.

2. Найбільш перспективною для забезпечення добробуту і продуктивності є модель вільного або комбінованого руху тварин, за якої корова має можливість самостійно обирати час відвідування робота та доступ до ресурсів ферми.

3. Математична модель у вигляді мережі масового обслуговування дозволяє оцінити завантаження роботів, імовірність утворення черги та відповідність пропускної здатності доїльного обладнання поголів'ю.

4. Агентна імітаційна модель дає змогу врахувати індивідуальні відмінності між коровами, соціальну ієрархію, лактаційну стадію та стан здоров'я, що є важливою перевагою порівняно з усередненими нормативними розрахунками.

5. Раціональне проектування роботизованої ферми повинно базуватися не лише на нормах площі, а й на результатах моделювання добових потоків тварин, що дозволяє підвищити продуктивність, знизити стрес і трудомісткість обслуговування та забезпечити стійкість технологічної системи.

Список використаних джерел

1. Rodenburg, J. (2017). Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. Journal of Dairy Science, 100(9), 7729–7738. https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(17)30649-5/pdf

2. Welsh Government, Farming Connect. (n.d.). Robotic milking and cattle welfare. https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/sites/farmingconnect/files/documents/TA%20-%20Robotic%20milking%20and%20cattle%20welfare.pdf

3. DeVries, T. J. (2019). Managing robot herds to optimize health and welfare. Western Canadian Dairy Seminar. https://wcds.ualberta.ca/wp-content/uploads/sites/57/2019/05/p-265-278-DeVries-WCDS-2019-Managing-Robot-Herds-to-Optimize-Health-and-Welfare.pdf

4. Smink, W. (2016). Align your precision dairy robot system with your goals. Western Canadian Dairy Seminar. https://wcds.ualberta.ca/wp-content/uploads/sites/57/wcds_archive/Archive/2016/Manuscripts/p%20219%20-%20232%20Smink.pdf

5. Halachmi, I., Metz, J. H. M., van Lent, A. J. H., Halachmi, S., & Speelman, L. (2003). Designing the optimal robotic milking barn by applying a queuing network approach. Wageningen University & Research. https://research.wur.nl/en/publications/designing-the-optimal-robotic-milking-barn-by-applying-a-queuing-

6. GEA. (n.d.). Designing a robotic barn. https://www.gea.com/en/canada/designing-a-robotic-barn/

7. Lactanet. (2024). Automatic milking system facilities. https://lactanet.ca/wp-content/uploads/2025/05/Ch2_AutomaticMilkingSystems_20Feb2024_LSolano.pdf

8. University of Wisconsin–Madison. (n.d.). Automated milking systems: Facility design considerations. https://dairy.extension.wisc.edu/articles/automated-milking-systems-facility-design-considerations/

9. Rodenburg, J. (2018). Optimal design for AMS barns. Western Canadian Dairy Seminar. https://wcds.ualberta.ca/wp-content/uploads/sites/57/2018/05/p-319-338-Rodenburg.pdf

10. University of Minnesota. (n.d.). Design considerations for robotic milking barns. https://rvs.umn.edu/Uploads/EducationalMaterials/96f53ad5-e69a-4f47-91db-5f0469d49e61.pdf

УДК 631.171:636:004.896

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ РОБОТИЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТВАРИННИЦТВІ

Руткевич В.С., к.т.н., доцент, v_rut@ukr.ua
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Сучасний розвиток тваринництва АПК потребує впровадження ефективних технічних рішень, спрямованих на підвищення продуктивності виробництва, зниження енерговитрат і мінімізацію використання ручної праці. Традиційні механізовані технологічні процеси не завжди забезпечують необхідний рівень автоматизації, гнучкості та точності виконання операцій. У зв’язку з цим актуальним є обґрунтування перспектив застосування роботизованих систем для автоматизації годівлі, напування, прибирання гною та моніторингу умов утримання тварин з урахуванням технічної, енергетичної й економічної ефективності їх використання [1, 2].

Метою дослідження. Полягає в обґрунтуванні перспектив застосування роботизованих систем для підвищення ефективності механізованих технологічних процесів у тваринництві АПК шляхом

автоматизації виробничих операцій, зниження енерговитрат і трудомісткості.

Методичний підхід. Ґрунтується на аналізі сучасних роботизованих систем для тваринництва, порівнянні їхніх техніко-експлуатаційних характеристик та оцінюванні ефективності застосування за показниками продуктивності, енергоємності й трудомісткості технологічних процесів.

Результати дослідження. Застосування роботизованих систем у тваринництві агропромислового комплексу є одним із перспективних напрямів удосконалення механізованих технологічних процесів, що передбачає підвищення продуктивності виробництва, зменшення трудомісткості операцій та оптимізацію використання матеріально-енергетичних ресурсів. Упровадження робототехнічних засобів дає змогу перейти від традиційної механізації окремих виробничих операцій до комплексної автоматизації процесів із використанням сенсорних систем, програмованих алгоритмів керування та засобів контролю технологічних параметрів.

Основними передумовами роботизації тваринницьких підприємств є необхідність забезпечення стабільності виробничих процесів, скорочення частки ручної праці, підвищення точності виконання операцій та адаптації обладнання до змінних умов експлуатації. Особливого значення набувають роботизовані системи на великих тваринницьких комплексах, де значна кількість однотипних операцій виконується щоденно, а ефективність виробництва залежить від узгодженої роботи технологічного обладнання.

Одним із найбільш перспективних напрямів є роботизація процесів годівлі тварин. Автоматизовані кормороздавальні системи забезпечують транспортування, дозування та розподілення кормових сумішей відповідно до встановлених технологічних параметрів. Використання мобільних роботизованих кормороздавачів дає змогу організувати регулярне підвезення корму до кормового столу, підтримувати його доступність для тварин і зменшувати потребу в ручному виконанні допоміжних операцій. За умови інтеграції з електронними системами обліку та керування можливе коригування режимів роботи обладнання залежно від структури раціону, кількості поголів’я та особливостей організації годівлі.

Важливим напрямом є використання роботизованих систем для прибирання гною та підтримання належного санітарного стану тваринницьких приміщень. Автономні скреперні установки й мобільні роботи-прибиральники можуть виконувати переміщення гнойових мас за

заданими маршрутами, працювати відповідно до встановленого графіка та зменшувати навантаження на обслуговувальний персонал. Застосування датчиків відстані, систем навігації та засобів виявлення перешкод дає змогу підвищити безпеку переміщення обладнання у виробничому середовищі. Водночас ефективність таких систем залежить від планування внутрішнього простору приміщень, стану підлогового покриття, конфігурації гнойових каналів і здатності роботів працювати за умов підвищеної вологості та забруднення.

Особливе місце в системі роботизації тваринництва посідають автоматизовані доїльні установки. Роботизовані доїльні системи забезпечують автоматизоване виконання основних операцій доїння, зокрема ідентифікацію тварини, підготовку вимені, приєднання доїльних апаратів, контроль параметрів молоковіддачі та реєстрацію виробничих показників. Використання таких систем дає змогу формувати індивідуальні дані щодо продуктивності корів, частоти доїння та перебігу технологічного процесу. Отримана інформація може використовуватися для вдосконалення організації виробництва, своєчасного виявлення відхилень і підвищення ефективності управління молочним стадом. Водночас упровадження роботизованого доїння потребує значних початкових інвестицій, належної підготовки персоналу та адаптації технології утримання тварин.

Перспективним напрямом є використання роботизованих і сенсорних систем для моніторингу фізіологічного стану тварин та параметрів виробничого середовища. Застосування електронних ідентифікаторів, датчиків активності, температури та інших показників дає змогу здійснювати безперервне збирання інформації про поведінку й стан поголів’я. На основі аналізу отриманих даних можуть виявлятися зміни рухової активності, відхилення від характерних поведінкових моделей та ознаки можливих порушень фізіологічного стану. Інтеграція таких засобів із програмним забезпеченням підтримки прийняття рішень сприяє переходу до більш індивідуалізованого управління утриманням тварин і своєчасного реагування на виявлені відхилення.

Не менш важливим є застосування автоматизованих систем керування мікрокліматом тваринницьких приміщень. Використання датчиків температури, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу та аміаку забезпечує контроль параметрів повітряного середовища. За результатами вимірювань система керування може регулювати роботу вентиляційного обладнання, нагрівальних пристроїв і систем охолодження відповідно до

встановлених технологічних режимів. Такий підхід дає змогу узгоджувати роботу інженерного обладнання з фактичними умовами утримання тварин, запобігати надмірному використанню енергетичних ресурсів і підтримувати належні параметри виробничого середовища.

Важливою умовою підвищення ефективності роботизованих систем є їх інтеграція в єдину цифрову систему керування тваринницьким підприємством. Поєднання робототехнічного обладнання із сенсорними мережами, системами автоматизованого обліку та програмними засобами аналізу даних створює можливості для оперативного контролю технологічних процесів і координації роботи окремих машин. Зокрема, інформація про кількість поголів'я, режими годівлі, продуктивність тварин і стан мікроклімату може використовуватися для коригування роботи відповідного обладнання.

З технічного погляду ефективність роботизованих систем визначається їхньою продуктивністю, надійністю, автономністю, точністю виконання операцій і здатністю адаптуватися до умов експлуатації. Під час вибору обладнання необхідно враховувати планування тваринницьких приміщень, чисельність поголів'я, особливості технології утримання, тривалість робочих циклів і потребу в технічному обслуговуванні. Важливе значення мають також енергоспоживання приводів, ємність акумуляторних батарей мобільних роботів, ефективність заряджання та можливість інтеграції з наявними механізованими комплексами.

Отже, результати аналізу свідчать, що перспективи роботизації тваринництва АПК пов'язані з комплексним удосконаленням процесів годівлі, доїння, прибирання гною, контролю фізіологічного стану тварин і регулювання мікроклімату. Найбільший потенціал мають технічні рішення, які поєднують автономне виконання операцій, сенсорний контроль і адаптивне керування. Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення раціональних параметрів роботизованого обладнання, оцінювання його енергетичної та експлуатаційної ефективності.

Список використаних джерел

1. Xiao D., Huang Y., Xiong Y. et al. Research progress on robotic technology in the field of livestock and poultry farming. *Journal of South China Agricultural University*. 2024. DOI: https://doi.org/10.7671/j.issn.1001-411X.202404055

2. Losacco C., Pugliese G., Forte L. et al. Digital Transition as a Driver for Sustainable Tailor-Made Farm Management: An Up-to-Date Overview on Precision Livestock Farming. 2025. Джерело: FAO AGRIS. URL: https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/6878d5fc7eb5d04f372b7a33 (дата звернення: 15.10.2026).

УДК 621.891:631.3:636

ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИННО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ У ТВАРИННИЦТВІ

Савченко В.М. к.т.н., доцент, **Антоненко Є.М.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Сучасне тваринництво характеризується високим рівнем механізації та автоматизації технологічних процесів. Приготування і роздавання кормів, видалення та транспортування гною, доїння, водопостачання, створення та підтримання мікроклімату, транспортування продукції та інші виробничі операції здійснюються з використанням складних машинно-технологічних систем. Ефективність їх функціонування значною мірою визначається технічною надійністю окремих машин, агрегатів і вузлів. При цьому значна частина відмов механічного обладнання безпосередньо або опосередковано пов’язана з процесами тертя та зношування деталей [1, 2].

Особливе місце в забезпеченні працездатності машин займають трибоспряження – сукупності контактуючих деталей, поверхні яких взаємодіють у процесі відносного переміщення. До них належать підшипникові вузли, пари «вал–втулка», зубчасті та ланцюгові передачі, шарнірні з’єднання, напрямні, ущільнення та інші пари тертя. Їх технічний стан безпосередньо впливає на надійність, довговічність та енергетичну ефективність обладнання.

У машинно-технологічних системах тваринництва трибоспряження експлуатуються в складних умовах. Для них характерні змінні та ударні навантаження, забруднення абразивними частинками кормів і пилу,

підвищена вологість, контакт з агресивними середовищами, періодичні температурні коливання та недостатність або забруднення мастильного матеріалу. Сукупність зазначених чинників призводить до інтенсифікації абразивного, адгезійного, втомного та корозійно-механічного зношування [1, 2].

Найбільш виражений вплив технічного стану трибоспряжень спостерігається у засобах для приготування і роздавання кормів. Змішувачі-кормороздавачі мають значну кількість підшипникових опор, редукторів, приводів, з'єднань валів та інших вузлів тертя. Дослідження експлуатаційної надійності кормозмішувального обладнання свідчать, що виникнення несправностей і відмов призводить до зниження його експлуатаційної надійності та потребує вдосконалення систем технічного обслуговування [3]. Зношування підшипників, валів, втулок або елементів приводу може спричиняти підвищення вібрацій, порушення режимів роботи, збільшення енергоспоживання і в кінцевому підсумку – аварійну зупинку обладнання.

Для тваринницьких підприємств наслідки таких відмов є особливо суттєвими, оскільки більшість технологічних операцій повинна виконуватися з чітко визначеною періодичністю. Несвоєчасне приготування або роздавання кормів, порушення роботи доїльного обладнання, систем водопостачання, вентиляції чи видалення гною негативно впливають не лише на продуктивність машин, але й на стабільність усього технологічного процесу.

Таким чином, довговічність трибоспряжень необхідно розглядати не тільки як показник технічного рівня окремої машини, а як один із чинників загальної виробничої ефективності тваринницького підприємства.

Вплив довговічності трибоспряжень на ефективність машинно-технологічної системи можна представити таким взаємозв'язком: підвищення зносостійкості → збільшення ресурсу трибоспряжень → зниження частоти відмов → скорочення простоїв → зменшення витрат на ремонт і запасні частини → підвищення коефіцієнта технічного використання машин → стабілізація технологічних процесів → підвищення ефективності тваринницького виробництва.

Одним із основних негативних наслідків зношування є поступове збільшення зазорів у рухомих з'єднаннях. Це призводить до порушення точності взаємного розташування деталей, виникнення додаткових динамічних навантажень і вібрацій. У підшипникових вузлах та зубчастих передачах такі зміни можуть прискорювати подальше руйнування

контактних поверхонь. Унаслідок цього процес зношування набуває самоприскорювального характеру: збільшення зносу погіршує умови контакту, а погіршення умов контакту, своєю чергою, збільшує інтенсивність зношування.

Важливим є також енергетичний аспект проблеми. Зростання коефіцієнта тертя внаслідок порушення режиму мащення, забруднення мастильного матеріалу або пошкодження поверхонь супроводжується збільшенням механічних втрат. Частина енергії приводу витрачається не на виконання корисної роботи, а на подолання додаткового опору тертю. У масштабах окремого вузла такі втрати можуть здаватися незначними, проте за великої кількості електроприводів, редукторів, підшипникових вузлів і транспортуючих механізмів вони впливають на загальне енергоспоживання підприємства. Дослідження впливу трибологічних процесів на технічні системи підтверджують вагоме значення тертя і зношування для енергетичних та економічних показників експлуатації машин [4].

Не менш важливим фактором є витрати на технічне обслуговування та ремонт. Зменшення ресурсу трибоспряжень спричиняє збільшення потреби у запасних частинах, мастильних матеріалах, ремонтних роботах та залученні обслуговуючого персоналу. При цьому економічні втрати складаються не тільки з вартості деталей і ремонту, але й із втрат, пов’язаних із простоєм технологічного обладнання.

Перспективним напрямом підвищення ефективності машинно-технологічних систем є застосування комплексного трибологічного підходу до забезпечення довговічності вузлів тертя. Він повинен передбачати раціональний вибір матеріалів контактуючих деталей, удосконалення геометрії та якості робочих поверхонь, застосування сучасних технологій поверхневого зміцнення, ефективних мастильних матеріалів і надійних систем ущільнення [5].

Важливу роль відіграє вибір мастильного матеріалу відповідно до реальних умов роботи вузла. Мастильне середовище повинно забезпечувати стабільне формування розділювальної плівки між поверхнями, зменшувати коефіцієнт тертя, відводити тепло та захищати поверхні від корозійного впливу. Порушення режиму мащення або потрапляння до мастила пилу, вологи та технологічних продуктів здатне істотно прискорити зношування деталей.

Для підшипникових вузлів сільськогосподарських машин доведена доцільність системного підходу, що поєднує вдосконалення мастильних

матеріалів, підвищення якості поверхонь тертя та ефективну герметизацію вузлів [5]. Аналогічні принципи доцільно застосовувати і для машинно-технологічного обладнання тваринницьких комплексів, де забруднення та підвищена вологість є характерними експлуатаційними чинниками.

Іншим перспективним напрямом є використання технологій поверхневої інженерії: нанесення зносостійких покриттів, поверхневого пластичного деформування, хіміко-термічної обробки та формування раціонального мікрорельєфу поверхонь. Застосування таких методів дає можливість змінювати фізико-механічні властивості поверхневих шарів деталей без істотної зміни конструкції вузла.

Подальший розвиток технологій відновлення та припрацювання трибоспряжень також створює резерв підвищення ресурсу сільськогосподарської техніки. Використання спеціальних триботехнологій дозволяє формувати на контактних поверхнях вторинні структури та плівки, здатні знижувати інтенсивність зношування і покращувати умови роботи спряжених деталей [6].

Суттєве значення для сучасних тваринницьких підприємств має перехід від ремонту обладнання після виникнення відмови до обслуговування за фактичним технічним станом. Контроль температури підшипникових вузлів, рівня вібрації, акустичних параметрів, стану мастильного матеріалу та величини споживаної електродвигуном потужності дає можливість своєчасно виявляти розвиток пошкоджень. Трибологічна надійність вузлів тертя може оцінюватися із застосуванням імовірнісних методів з урахуванням випадкового характеру навантажень і процесу накопичення зносу [7].

Застосування систем технічного діагностування у поєднанні з цифровими технологіями створює передумови для прогнозування залишкового ресурсу найбільш відповідальних трибоспряжень. Це особливо важливо для автоматизованих тваринницьких комплексів, де раптова відмова одного механізму може порушувати роботу взаємопов’язаної технологічної лінії.

Отже, довговічність трибоспряжень є одним із ключових чинників забезпечення ефективності машинно-технологічних систем у тваринництві. Збільшення ресурсу пар тертя забезпечує скорочення кількості відмов і аварійних простоїв, зменшення ремонтно-експлуатаційних витрат, підвищення коефіцієнта технічного використання обладнання та зниження непродуктивних енергетичних втрат.

Підвищення довговічності трибоспряжень повинно базуватися на комплексному поєднанні конструктивних, технологічних та експлуатаційних заходів: застосуванні зносостійких матеріалів і покриттів, раціональному виборі мастильних середовищ, удосконаленні систем ущільнення, контролі якості поверхонь, своєчасному технічному обслуговуванні та впровадженні систем моніторингу технічного стану.

За такого підходу трибологічне забезпечення довговічності машин перестає бути лише завданням ремонту окремих деталей і стає важливою складовою управління ефективністю всього тваринницького виробництва.

Список використаних джерел

1. Hutchings I. M., Shipway P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 2nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017.

2. Stachowiak G. W., Batchelor A. W. Engineering Tribology. 4th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2014. DOI: 10.1016/C2011-0-07515-4.

3. Novitskiy A., Banniy O., Novitskyi Y., Antal M. A study of mixer-feeder equipment operational reliability. Machinery & Energetics. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 101–110. DOI: 10.31548/machinery/4.2023.101.

4. Holmberg K., Erdemir A. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. Friction. 2017. Vol. 5, No. 3. P. 263–284. DOI: 10.1007/s40544-017-0183-5.

5. Lymar O. Increasing the wear resistance of friction bearing units of agricultural machinery based on a comprehensive tribological approach. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри : матеріали Міжнародного форуму. Миколаїв : МНАУ, 2026. С. 108–110. DOI: 10.31521/978-617-7149-94-0-34.

6. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. … д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

7. Dykha M. O., Dytyniuk V. O., Staryi A. L. Probabilistic approach to assessing tribotechnical reliability indicators of friction units. Problems of Tribology. 2025. Vol. 30, No. 1. P. 27–33. DOI: 10.31891/2079-1372-2025-116-1-27-33.

УДК 637.1:621.56:620.9

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА

Савченко В.М. к.т.н., доцент, **Савін Н.Л.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Охолодження молока є одним із найбільш енергоємних технологічних процесів первинної обробки продукції на молочнотоварних фермах. Від швидкості зниження температури свіжовидоєного молока та стабільності її підтримання під час зберігання значною мірою залежать його якість, мікробіологічні показники та тривалість зберігання. Водночас експлуатація холодильних установок потребує значних витрат електричної енергії, тому актуальним завданням є пошук технічних і технологічних рішень, які забезпечують необхідний температурний режим за мінімальних питомих енерговитрат.

Під час надходження з доїльного обладнання температура молока становить приблизно 35–37 °С. Для забезпечення належних умов його зберігання необхідне швидке охолодження до температури близько 4 °С. Кількість теплоти, яку необхідно відвести від молока, визначається залежністю:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_1 - t_2), \quad (1)$$

де Q – кількість теплоти, що відводиться, Дж; m – маса молока, кг; c – питома теплоємність молока, Дж/(кг·К); t_1 і t_2 – відповідно початкова та кінцева температури молока, °С.

Таким чином, енергетичні витрати системи охолодження безпосередньо залежать від кількості молока, температурного перепаду, ефективності теплообміну та коефіцієнта перетворення холодильної установки.

Одним із найбільш перспективних напрямів зменшення споживання електроенергії є попереднє охолодження молока перед його надходженням у молочний танк. Для цього доцільно застосовувати пластинчасті теплообмінники, в яких як охолоджувальне середовище використовується холодна вода. У результаті частина теплової енергії молока відводиться без використання компресорної холодильної машини. Це дозволяє знизити

навантаження на холодильний агрегат, скоротити тривалість його роботи та зменшити пікове електроспоживання.

Ефективність попереднього охолодження значною мірою залежить від співвідношення витрат молока й охолоджувальної води, площі поверхні теплообміну, температури води та швидкості проходження потоків через теплообмінник. Додатковою перевагою такого рішення є можливість подальшого використання нагрітої води для технологічних потреб ферми.

Важливим резервом енергозбереження є рекуперація теплоти холодильного обладнання. Під час роботи компресора значна кількість теплоти відводиться через конденсатор у навколишнє середовище. Встановлення рекуперативного теплообмінника дозволяє використовувати цю теплову енергію для підігрівання води, необхідної для миття доїльного обладнання, молокопроводів і резервуарів. Такий підхід не тільки знижує загальне енергоспоживання господарства, але й підвищує ефективність використання енергетичних ресурсів.

Перспективним напрямом є застосування частотно-регульованого приводу компресорів, насосів і вентиляторів. Традиційні холодильні установки часто працюють у режимі періодичного ввімкнення та вимкнення, що призводить до підвищених пускових струмів і нераціонального використання енергії. Частотне регулювання дозволяє адаптувати продуктивність обладнання до фактичного теплового навантаження та забезпечувати стабільніший температурний режим.

Значний потенціал енергозбереження має використання акумуляторів холоду. Накопичення холоду в періоди мінімального навантаження на електричну мережу та його використання безпосередньо під час доїння дає можливість зменшити максимальну потужність холодильної установки. Особливо ефективними можуть бути системи акумуляції холоду на основі льодової води, які забезпечують інтенсивне охолодження молока в періоди його максимального надходження.

Окрему увагу необхідно приділяти тепловій ізоляції резервуарів і трубопроводів. Недостатня товщина або пошкодження теплоізоляційного шару призводять до збільшення теплопритоків із навколишнього середовища, а отже – до додаткової роботи холодильного агрегату. Зменшення теплових втрат забезпечує скорочення тривалості роботи компресорів та зниження питомих витрат електроенергії.

Енергоефективність процесу охолодження також суттєво залежить від технічного стану обладнання. Забруднення поверхонь конденсаторів і

теплообмінників, недостатня кількість холодоагенту, порушення режимів роботи компресора та погіршення теплообміну спричиняють збільшення енергоспоживання. Тому систематичне технічне обслуговування холодильного обладнання є одним із найбільш доступних способів підтримання його високої енергетичної ефективності.

Додаткового зниження енерговитрат можна досягти за рахунок впровадження автоматизованих систем керування процесом охолодження. Використання датчиків температури, витрати, тиску та споживаної потужності дозволяє контролювати роботу обладнання в режимі реального часу. Алгоритми автоматичного регулювання можуть змінювати продуктивність компресора та насосів відповідно до інтенсивності надходження молока і його поточної температури.

Для оцінки ефективності технологічних рішень доцільно використовувати показник питомих енерговитрат:

$$e = E / M, \quad (2)$$

де e – питомі витрати електричної енергії, кВт·год/кг або кВт·год/т; E – загальне споживання електричної енергії системою охолодження; M – маса охолодженого молока.

Зменшення цього показника за умови дотримання необхідної температури молока може бути основним критерієм оцінювання енергетичної ефективності технологічної системи.

Таким чином, зниження енерговитрат у технологічному процесі охолодження молока потребує комплексного підходу. Найбільш перспективними напрямами є застосування попереднього охолодження у пластинчастих теплообмінниках, рекуперація теплоти холодильних машин, використання частотно-регульованих приводів, акумуляторів холоду, удосконалення теплоізоляції та впровадження автоматизованого керування. Поєднання зазначених технічних рішень дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії, підвищити ефективність роботи холодильного обладнання та забезпечити стабільне дотримання необхідного температурного режиму зберігання молока.

УДК 631.879.4

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Савченко В.М. к.т.н., доцент, **Тисько Д.І.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Сучасне аграрне виробництво супроводжується утворенням значних обсягів побічної органічної продукції, до якої належать солома зернових культур, стебла кукурудзи та соняшнику, лушпиння, жом, макуха, некондиційна рослинна сировина, відходи переробки плодів і овочів, гній та послід, залишки кормів тощо. Традиційні способи поводження з такими матеріалами не завжди забезпечують їх раціональне використання, а тривале зберігання, складування або спалювання рослинних решток може супроводжуватися втратою органічної речовини й елементів живлення та негативним впливом на навколишнє середовище. Водночас значна частина побічної аграрної продукції містить целюлозу, геміцелюлозу, лігнін, білки, вуглеводи, мінеральні та біологічно активні речовини, що дозволяє розглядати її як цінну вторинну сировину для біотехнологічної переробки [1].

Одним із перспективних напрямів такої переробки є аеробна ферментація. У широкому технологічному розумінні вона передбачає керовану біоконверсію органічної сировини за участю аеробних мікроорганізмів і достатнього забезпечення середовища киснем. Для твердих побічних продуктів аграрного виробництва цей підхід реалізується передусім у вигляді аеробного компостування та окремих технологій твердофазної ферментації (solid-state fermentation – SSF). Наукові дослідження свідчать, що твердофазна ферментація дозволяє використовувати сільськогосподарські залишки як субстрат для одержання широкого спектра продуктів із доданою вартістю: ферментів, органічних кислот, біологічно активних речовин, кормових компонентів, біопалива, біодобрив та агентів біологічного захисту [2].

Особливістю аеробної переробки є проходження послідовних стадій мікробіологічної трансформації органічної речовини. На початковому етапі активно розкладаються легкодоступні вуглеводи та білкові сполуки, що супроводжується інтенсивним виділенням тепла. Підвищення температури

сприяє переходу до термофільної фази, під час якої активізується розкладання більш складних органічних компонентів та відбувається санітарна стабілізація субстрату. У подальшому, зі зменшенням кількості легкодоступних поживних речовин, температура поступово знижується, а процес переходить у фазу дозрівання і гуміфікації. У результаті формується більш стабільний органічний матеріал, придатний для використання як органічне добриво або покращувач ґрунту.

Ефективність аеробної ферментації істотно залежить від співвідношення вуглецю та азоту в початковому субстраті. Метааналіз результатів 192 наукових досліджень показав, що для аеробного компостування аграрних органічних залишків у більшості випадків сприятливим є початкове співвідношення C/N близько 25–30. Водночас оптимальні значення залежать від виду сировини: для сумішей із свинячим і курячим гноєм рекомендований діапазон становить приблизно 20–25, а для овечого та великої рогатої худоби – 25–35 [3]. Надмірно низьке співвідношення C/N сприяє втратам азоту у вигляді аміаку, тоді як надмірно високе уповільнює активність мікроорганізмів і процеси гуміфікації.

Крім співвідношення C/N, визначальними параметрами процесу є вологість, температура, pH, пористість субстрату, розмір частинок, інтенсивність і періодичність аерації. Забезпечення доступу кисню необхідне для підтримання активності аеробної мікрофлори та запобігання формуванню локальних анаеробних зон. При цьому надмірно інтенсивна аерація також є небажаною, оскільки може спричиняти прискорене охолодження й висушування субстрату, а також додаткові втрати азоту. Тому перспективним напрямом розвитку технологій є перехід від періодичного механічного перемішування до регульованої примусової аерації з контролюванням температури, вологості та концентрації кисню.

Аналіз сучасних досліджень свідчить про значний потенціал застосування різних технологічних добавок для інтенсифікації аеробної ферментації. До них належать біовугілля, цеоліти, мінеральні сорбенти, зрілий компост, ферментні препарати та спеціально підібрані мікробні консорціуми. Їх застосування може покращувати пористість ферментаційної маси, сприяти утриманню азоту, активізувати розкладання лігноцелюлозної сировини та прискорювати формування зрілого продукту. У сучасних оглядах технологій компостування особлива увага приділяється саме поєднанню регулювання параметрів процесу з використанням функціональних добавок [4].

Перспективним є також використання зрілого компосту як біологічно активної добавки до нової партії сировини. Експериментальні дослідження спільного аеробного компостування гною великої рогатої худоби зі зрілим компостом показали підвищення активності ферментів, які беруть участь у перетворенні вуглеводів, покращення взаємодії між групами мікроорганізмів та активізацію деградації лігноцелюлозних компонентів [5]. Такий підхід дозволяє частково використовувати готовий продукт як джерело адаптованої мікрофлори та може бути ефективним способом скорочення тривалості технологічного процесу.

Водночас одним із основних технологічних і екологічних завдань залишається зменшення втрат азоту. Під час інтенсивного розкладання азотовмісних органічних речовин утворюється амонійний азот, частина якого може переходити в газоподібний аміак. Крім зниження удобрювальної цінності кінцевого продукту це призводить до небажаних викидів у навколишнє середовище. Перспективним технічним рішенням є застосування закритих або напівзакритих систем ферментації, зокрема мембранних покриттів. За результатами досліджень компостування суміші гною великої рогатої худоби та пшеничної соломи використання мембранної системи забезпечувало скорочення викидів NH_3 приблизно на 7,1–12,4 % порівняно з традиційним варіантом процесу [6].

Іншим напрямом удосконалення є цілеспрямоване застосування мікроорганізмів. Аеробна ферментація може проводитися за участю представників родів Bacillus, Aspergillus, Trichoderma, Penicillium та інших мікроорганізмів, здатних продукувати целюлази, ксиланази, протеази та інші ферменти. За рахунок цього відбувається більш глибока біоконверсія компонентів рослинної сировини. Сучасні дослідження твердофазної ферментації показують, що підбір мікробної культури, типу субстрату, його вологості, pH, температури, розміру частинок та кількості інокуляту визначає не лише швидкість процесу, а й напрям утворення кінцевих продуктів [7].

Особливо перспективною для аграрного виробництва є спільна ферментація різних видів побічної продукції. Рослинні залишки характеризуються високим вмістом вуглецю та відносно низькою концентрацією азоту, тоді як гній і пташиний послід, навпаки, є багатими на азот і мають підвищену вологість. Формування багатокомпонентних сумішей дозволяє наблизити C/N, вологість та фізичну структуру субстрату до оптимальних значень без значного використання додаткових ресурсів.

Солома, подрібнені стебла, лушпиння та інші структурні матеріали одночасно виконують роль джерела вуглецю і забезпечують необхідну пористість ферментаційної маси.

Сучасні дослідження також показують, що проблема збереження азоту повинна розглядатися комплексно. Його втрати під час аеробного компостування пов'язані не лише з випаровуванням NH_3, але й з утворенням N_2O та міграцією нітратів. Перспективними засобами їх мінімізації є оптимізація складу початкової суміші, регулювання аерації, температури, вологості та pH, застосування сорбентів і мікробних препаратів, а також удосконалення конструкцій ферментаційного обладнання та автоматизація керування процесом [8].

Практична доцільність аеробного компостування підтверджується й українськими дослідженнями. Зокрема, при дослідженні технології отримання покращувача ґрунту шляхом аеробного компостування відходів тваринництва було показано можливість керованого проходження стадій сушіння, аерації та аерації з внесенням мікробних препаратів із контролем температури, вологості та pH. Авторами розглянуто використання підстилкового гною великої рогатої худоби, соломи та торфу як компонентів ферментаційної суміші [9]. Це підтверджує перспективність адаптації технологій аеробної ферментації до сировинної бази українських аграрних підприємств.

З інженерної точки зору подальший розвиток технології доцільно пов'язувати зі створенням модульних ферментаційних установок із примусовою подачею повітря, автоматизованим контролем температури та вологості, періодичним або безперервним перемішуванням сировини. Використання датчиків температури, вологості, кисню, аміаку та вуглекислого газу створює передумови для керування процесом відповідно до фактичної біологічної активності субстрату. Це особливо важливо при масштабуванні технології, оскільки нерівномірність температурних і газових полів у великих буртах або реакторах може знижувати ефективність біоконверсії.

Важливою перевагою аеробної ферментації є можливість переходу від концепції «утилізації відходів» до концепції валоризації побічної продукції. Кінцевим результатом технологічного процесу може бути не лише традиційний компост, але й органо-мінеральні добрива, субстрати для вирощування рослин, кормові добавки, ферментні препарати та інші біопродукти. Саме такий підхід відповідає принципам циркулярної

біоекономіки, у якій речовини, що виникають на одному етапі аграрного виробництва, використовуються як ресурс для іншого виробничого процесу [1, 2, 7].

Отже, аеробна ферментація є перспективним напрямом комплексної переробки побічної продукції аграрного виробництва. Її застосування забезпечує стабілізацію органічної сировини, часткове знезараження, зменшення її об'єму, трансформацію важкодоступних органічних сполук та одержання продуктів із підвищеною агрономічною або біотехнологічною цінністю. Найбільші перспективи подальшого розвитку технології пов'язані з оптимізацією співвідношення C/N, удосконаленням систем аерації, використанням спеціалізованих мікробних консорціумів і функціональних добавок, мінімізацією втрат азоту, автоматизованим контролем параметрів процесу та створенням компактних ферментаційних установок безпосередньо для аграрних підприємств. Реалізація зазначених напрямів сприятиме більш повному використанню біоресурсного потенціалу сільського господарства, зменшенню техногенного навантаження та формуванню замкнених циклів використання органічної сировини.

Список використаних джерел

1. Sadh P. K., Duhan S., Duhan J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. Bioresources and Bioprocessing. 2018. Vol. 5. Article 1. DOI: 10.1186/s40643-017-0187-z.

2. Chilakamarry C. R., Sakinah A. M. M., Zularisam A. W., Sirohi R., Khilji I. A., Ahmad N., Pandey A. Advances in solid-state fermentation for bioconversion of agricultural wastes to value-added products: Opportunities and challenges. Bioresource Technology. 2022. Vol. 343. Article 126065. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126065.

3. Shen B., Zheng L., Zheng X., Yang Y., Xiao D., Wang Y., Sheng Z., Ai B. Insights from meta-analysis on carbon to nitrogen ratios in aerobic composting of agricultural residues. Bioresource Technology. 2024. Vol. 413. Article 131416. DOI: 10.1016/j.biortech.2024.131416.

4. Noor R. S. et al. Recent Trends and Advances in Additive-Mediated Composting Technology for Agricultural Waste Resources: A Comprehensive Review. ACS Omega. 2024. Vol. 9, No. 8. P. 8632–8653. DOI: 10.1021/acsomega.3c06516.

5. Zhang Z., Yang H., Wang B., Chen C., Zou X., Cheng T., Li J. Aerobic co-composting of mature compost with cattle manure: Organic matter

conversion and microbial community characterization. Bioresource Technology. 2023. Vol. 382. Article 129187. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.129187.

6. Xiong J., Zhuo Q., Shi Z., He X., Han L., Huang G. Multivariate and multiscale investigation of ammonia production and emission mechanisms during membrane-covered cattle manure/wheat straw aerobic composting. Chemical Engineering Journal. 2023. Vol. 478. Article 147511. DOI: 10.1016/j.cej.2023.147511.

7. Perwez M., Al Asheh S. Valorization of agro-industrial waste through solid-state fermentation: Mini review. Biotechnology Reports. 2025. Vol. 45. Article e00873. DOI: 10.1016/j.btre.2024.e00873.

8. Zheng X., Wang L., He Y., Ai B. Multi-Scale Control Strategies for Nitrogen Loss During Aerobic Composting of Agricultural Waste: A Review. Clean Technologies. 2026. Vol. 8, No. 4. Article 121. DOI: 10.3390/cleantechnol8040121.

9. Малиновський В. В., Мітіна Н. Б. Технологія отримання покращувача ґрунту шляхом аеробного компостування. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. Т. 35 (74), № 6, ч. 1. С. 186–192. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.6.1/31.

УДК 631.333

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Савченко В.М. к.т.н., доцент, **Шепель О.В.** здобувач освіти
Поліський національний університет, м. Житомир

Підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від раціонального використання добрив та технічного забезпечення процесу їх внесення. Одним із перспективних напрямів відтворення родючості ґрунтів є застосування органомінеральних добрив, які поєднують позитивні властивості органічної та мінеральної складових. Ефективність їх використання визначається не лише складом і

нормою внесення, а й якістю виконання технологічної операції, яка безпосередньо залежить від конструкції та технічних параметрів робочих органів машин.

Органомінеральні добрива можуть мати різний гранулометричний склад, вологість, насипну щільність, сипкість, коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя. Зміна фізико-механічних властивостей матеріалу суттєво впливає на процес його переміщення в бункері, дозування, подачу до розсіювальних органів та рівномірність розподілу по поверхні поля. Тому конструктивні й кінематичні параметри робочих органів необхідно узгоджувати з властивостями конкретного виду органомінерального добрива.

До основних робочих органів машин для поверхневого внесення сипких органомінеральних добрив належать дозувальні пристрої, живильники, транспортери та розсіювальні механізми. В сучасних машинах значного поширення набули відцентрові дискові робочі органи. Їх перевагами є відносна простота конструкції, висока продуктивність, можливість забезпечення значної ширини захвату та регулювання норми внесення. Дослідження відцентрових розсіювальних систем свідчать, що їх ефективність істотно залежить від геометричних параметрів диска і лопаток, частоти обертання та місця подачі матеріалу на диск [1, 2].

До основних технічних параметрів відцентрового робочого органа належать діаметр диска, кількість, довжина та форма лопаток, кут їх установлення, висота розташування диска над поверхнею поля та частота його обертання. Збільшення частоти обертання робочого органа призводить до підвищення швидкості сходження частинок добрив із лопаток і, відповідно, збільшення дальності їх польоту. Водночас надмірна швидкість може спричинити руйнування гранул, збільшення кількості пилоподібних частинок та погіршення рівномірності розподілу матеріалу.

Діаметр розсіювального диска та довжина лопаток визначають тривалість контакту частинок добрив із робочою поверхнею та значною мірою формують їх кінематичні параметри в момент сходження. Важливе значення має також кут установлення лопаток, від якого залежить напрям абсолютної швидкості руху частинок та характер формування смуги розсівання. Удосконалення конструкції лопаток дозволяє підвищити дальність транспортування частинок і поліпшити рівномірність їх розподілу [3].

Одним із ключових показників якості роботи машин є рівномірність внесення добрив по ширині захвату. Вона залежить не лише від параметрів розсіювальних дисків, а й від стабільності подачі матеріалу. За нерівномірної роботи дозатора або живильника змінюється кількість добрив, що надходить на робочий орган, унаслідок чого виникають ділянки з недостатньою або надлишковою нормою внесення. Особливо важливим це є для органомінеральних сумішей, компоненти яких можуть відрізнятися за щільністю та розмірами частинок.

Для забезпечення стабільної подачі застосовують гравітаційні, котушкові, шнекові та транспортерні дозувальні системи. Їх основними параметрами є площа прохідного перерізу дозувального вікна, швидкість руху транспортера або частота обертання дозатора, геометричні параметри робочих елементів та коефіцієнт заповнення. Раціональне узгодження продуктивності дозувального пристрою зі швидкістю руху агрегату є необхідною умовою дотримання заданої норми внесення.

Важливим напрямом удосконалення машин є застосування систем автоматичного регулювання подачі добрив залежно від швидкості руху машинно-тракторного агрегату. Перспективним є також використання технологій диференційованого внесення, за яких продуктивність дозувальних робочих органів автоматично змінюється відповідно до агрохімічних характеристик окремих ділянок поля. Це дозволяє підвищити ефективність використання добрив, зменшити непродуктивні витрати та створити передумови для реалізації принципів точного землеробства.

Під час вибору раціональних параметрів робочих органів необхідно враховувати взаємозв’язок між продуктивністю машини, шириною захвату, швидкістю руху агрегату, нормою внесення та характеристиками добрив. Дослідження конструктивно-технологічних схем машин показують, що стабілізація потоку матеріалу від бункера до розсіювального механізму є одним із основних факторів забезпечення заданої дози внесення незалежно від ступеня заповнення кузова [4].

Таким чином, аналіз технічних параметрів робочих органів машин для внесення органомінеральних добрив показує, що якість технологічного процесу визначається комплексною взаємодією конструктивних, кінематичних та технологічних факторів. Найбільший вплив мають параметри дозувального пристрою, діаметр і частота обертання розсіювальних дисків, геометрія та кут установлення лопаток, місце подачі матеріалу на диск, а також фізико-механічні властивості добрив. Подальше

вдосконалення машин доцільно спрямувати на оптимізацію параметрів цих робочих органів, забезпечення стабільності дозування та впровадження автоматизованих систем керування технологічним процесом, що дозволить підвищити рівномірність внесення органомінеральних добрив та ефективність їх використання.

Список використаних джерел

1. Кобець А. С., Науменко М. М., Пономаренко Н. О. Обґрунтування конструкції чотирилопатевого відцентрового розкидача мінеральних добрив. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2013. Вип. 43, ч. 1. С. 56–65.

2. Кобець А. С., Науменко М. М., Пономаренко Н. О. Обґрунтування конструктивних особливостей робочого органа розкидача мінеральних добрив відцентрового типу. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. № 6/1 (72). С. 73–78. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30918.

3. Кобець А. С., Науменко М. М., Пономаренко Н. О. Обґрунтування конструктивних параметрів робочого органа розкидача мінеральних добрив. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2015. Вип. 45, ч. 1. С. 42–47.

4. Ponomarenko N., Kobets A., Haritonov N. Construction of centrifugal working device for mineral fertilizers spreading. INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 51, No. 1. P. 5–15.

5. Shi Y., Chen M., Wang X., Odhiambo M. O., Ding W. Numerical simulation of spreading performance and distribution pattern of centrifugal variable-rate fertilizer applicator based on DEM software. Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 144. P. 249–259. DOI: 10.1016/j.compag.2017.12.015.

6. Shvarts A. A., Korotkov I. V. Justification of the design parameters of the blade of the rotary working body of the solid fertilizer spreader. Tractors and Agricultural Machinery. 2022. Vol. 89, No. 2. P. 133–140. DOI: 10.17816/0321-4443-105128.

7. Пономаренко Н. О., Теслюк Г. В., Кобець О. М., Лепеть Є. І., Часов Д. П., Бейгул В. О. Удосконалений відцентровий диск з подвійною подачею добрив. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). 2024. Т. 1, № 44. С. 91–98. DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.11.

УДК 621.929.7

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ РІДКИХ КОРМІВ В СВИНАРСТВІ

Семенцов В.В., Семенцов В.І., Волощук В.М.
sementsov1984@ukr.net
Державний біотехнологічний університет

Успішне ведення свинарства можливе лише за безперебійного біологічно повноцінного годівлі свиней з використанням доброякісних кормів [1]. Будова травного тракту визначає «меню» тварин та птиці та їх здатність перетравлювати ті чи інші корми. У практиці годівлі свиней використовують такі фізичні форми кормів: сухі розсипні, гранульовані, вологі та рідкі.

Сухий розсипний комбікорм навіть за дотримання всіх вимог певною мірою негативно впливає на продуктивність свиней. Пилоподібні частини комбікорму, які становлять до 20% його фізичного складу, збуджують верхні дихальні шляхи та призводять до легеневих захворювань [2].

Рекомендації вчених для тварин і птиці з прямоточною системою шлунково-кишкового тракту зводяться до того, що, наприклад, корми для свиней повинні бути рідкими, злаки повинні бути подрібнені до розмірів 0-30 мкм і в процесі їх приготування повинно бути забезпечене протікання процесів ферментативного зброджування крохмалю. глюкоза, фруктоза, мальтоза, галактоза тощо, що становить понад 50% вмісту крохмалю в кормі. При згодовуванні таких кормів тваринам збільшується вміст у тілі тварин: азоту до 30%, кальцію до 12%, фосфору - 6.4%, магнію - 4%, покращується перетравлюваність сирого протеїну на 12.3%, сирої клітковини на 14.5% і позитивно впливає на зростання живої маси тварин [3].

Тому вдосконалення засобів механізації приготування рідких кормів, які відрізнятимуться простотою конструкції, низькою енергоємністю та металоємністю є актуальним та перспективним науковим завданням для розвитку тваринницької галузі України.

Існує безліч технологій приготування рідкої кормової суміші для свиней. Проте найперспективнішою є нова технологія, що передбачає

годування свиней гомогенної кормової суспензією, тобто. ферментованим кормом із суміші зернових або концентрованих кормів при співвідношенні води до зернової суміші будь-якого складу 2:1 [4].

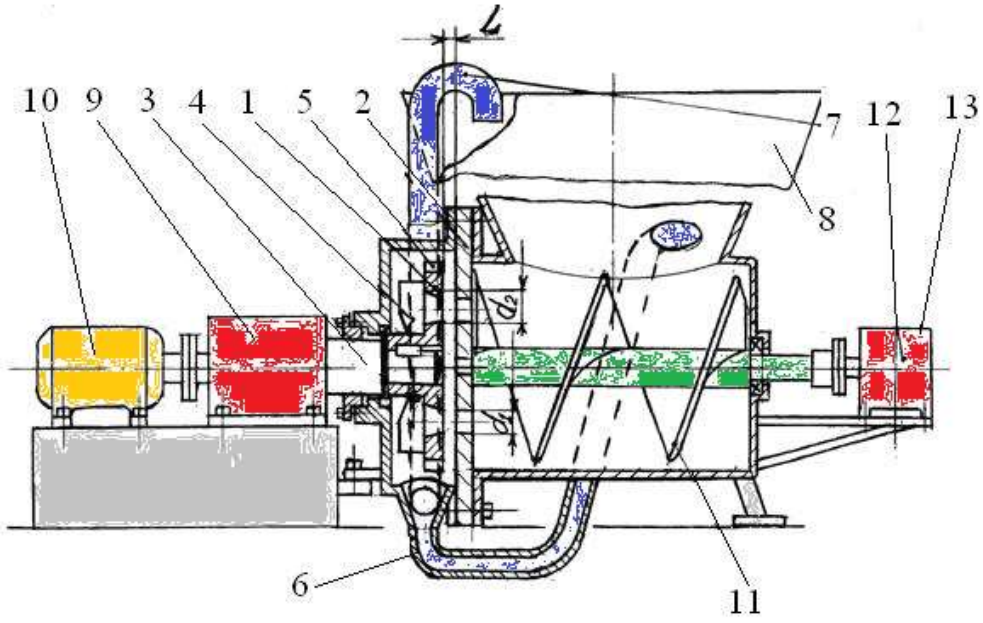

Рис. 1. Схема пристрою для приготування рідких кормів

Дробильний пристрій для приготування рідких кормів складається з двох дисків з отворами - рухомого 1 і нерухомого 2, робочий проміжок між якими регулюється змінними пластинами 3. Циркуляція подрібнюваного корму здійснюється лопатями 4 і 5 по нижньому 6 і верхньому 7 патрубках через завантаження. підшипниковий вузол 9 електродвигуном 10, а шнекового конвеєра 11 через черв'ячний редуктор 12 електродвигуном 13.

Принцип роботи подрібнювального пристрою для приготування рідких кормів такий: спочатку в бункер 8 подають необхідну кількість води, а потім включають в роботу електродвигун 10, який через підшипниковий вузол 9 передає крутний момент рухомому диску 1 і електродвигун 13, який через черв'ячний редуктор 12 приводить в рух. бункер 8 фуражне зерно, яке захоплюється шнековим конвеєром 11, перемішується з водою і під тиском продавлюється через отвори нерухомого диска 2 і потрапляє в робочу зону подрібнення рухомого диска 1. Відбувається удар із затисканням фуражного зерна з виділенням тепла 1, де збільшується в обсязі і за рахунок відцентрової сили відкидається на периферію рухомого диска 1. Частково подрібнена маса за допомогою лопатей 4 і 5 під тиском подається знову в бункер 8 по двох патрубках: по нижньому 6, який входить в бункер 8 по

дотичній до радіу вивантажний подає суміш у верхню частину бункера 8. Відбувається активне перемішування суміші корму. Подрібнення фуражного зерна відбувається до тих пір, поки не отримають однорідну за розмірами підігріту кормову суміш у вигляді каші і за допомогою вивантажувального патрубка 7 направляють її в годівницю. Потім необхідно додати частку води, включити пристрій у роботу та дати можливість промити зону подрібнення від залишків корму та рослинних домішок.

Таким чином це є перспективним напрямком розвитку обладнання для кормоприготування в свинарстві.

Літературні джерела

1. Ресурсозберігаючі технології виробництва свинини: теорія і практика / [Царенко О.М., Крятов О.В., Крятова Р.Є., Бондарчук Л.В.] - Суми: ВТД «Університетська книга», 2004. – 269 с.

2. Коваленко В.Ф. Гомогенна кормова суспензія – для ефективної відгодівлі свиней / В.Ф. Коваленко, М.Б. Смоляник // Тваринництво.– 2007. – № 3. – С. 7-8.

3. Існуючі способи подрібнення концентрованого корму / Дзюба А.І., Троянов М.М., Нанка О.В., Фісяченко О.І., Мерінець Н.А. // Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва: Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2005.– № 42. – С. 132–138.

4. Modeling of the Dosing Process of Loose Fine-Dispersed Materials with a Sieve Dispenser [Electronic resource] / V. Sementsov, S. Kharchenko, S. Taras, S. Samborski, V. Voloshchuk, V. Sementsov, O. Maiorov, M. Nikolov // AIP Conference Proceedings : 30th Technical and Scientific Conference on Transport, Ecology - Sustainable Development, Hybrid, Varna, June 13-15, 2024. - Varna, 2024. - Vol. 3294, Issue 1. - Ст. 020016. - https://doi.org/10.1063/5.0255757

УДК 636.352/353

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕРНОМЕТАЧІВ

Твердохліб І.В., к.т.н., доцент, igor_tverdokhlib@yahoo.com
Ковальчук О.О., аспірант, olejikvok@gmail.com
Борисюк Д.В., к.т.н., доцент, bddv@ukr.net
Вінницький національний технічний університет

Аналізуючи схеми післязбиральної обробки зерна, що застосовується нині у більшості господарств, легко помітити, що найбільша кількість операцій із післязбиральної обробки зернового вороху так чи інакше пов'язана з його переміщенням, перелопачуванням або метанням, що здійснюються за допомогою спеціальних машин – зернометачів.

У процесі обробки зернового вороху за допомогою зернометачів відбувається його попереднє очищення від грубих домішок, зниження вологості (підсушування) та у деяких випадках (при самозігріванні) – охолодження.

Аналіз літературних джерел [1-5] показав, що єдиної універсальної класифікаційної ознаки для зернометачів недостатньо. Для повнішої характеристики конструкцій доцільно використовувати комплекс ознак: тип робочого органа, спосіб переміщення зерна, характер подачі зернового потоку, конструкцію притискного або подавального пристрою, спосіб формування зернового потоку та технологічне призначення машини.

Метою даного дослідження є проведення класифікації зернометачів, що дозволить систематизувати існуюче різноманіття цієї техніки, визначити їхні ключові конструктивні відмінності та допомогти сільгоспвиробникам у виборі оптимального обладнання для автоматизації навантажувально-розвантажувальних робіт.

У науковій літературі розвиток конструкцій зернометачів пов'язується насамперед із необхідністю підвищення продуктивності, зменшення енерговитрат та мінімізації травмування зернівок.

Зернометальні машини (зернометачі) класифікують за декількома ключовими ознаками: принципом роботи, мобільністю, продуктивністю та призначенням.

Докладну класифікацію цих машин представлено в табл. 1.

Найпоширенішим і найпопулярнішим типом зернометачів є скребкові (стрічкові) агрегати, а серед конкретних моделей лідером на ринку виступає ЗМ-60А (рис. 1) (і загалом лінійка ЗМ-60, ЗМ-80).

Класифікація зернометачів здійснюється для того, щоб розділити ці машини на групи за ключовими конструктивними та експлуатаційними ознаками. Це допомагає аграріям правильно підібрати техніку під конкретні

завдання господарства (об’єми виробництва, типи складів, види культур) та оптимізувати процес навантаження й очищення зерна.

Таблиця 1 – **Класифікація зернометачів**

Класифікаційна ознака	Вид зернометача
За принципом дії (типу робочого органу)	Тригерні (стрічкові) зернометальні машини
	Скребкові зернометальні машини
	Шнекові (гвинтові) зернометальні машини
	Вакуумні (пневматичні) зернометальні машини
За рівнем мобільності	Самопересувні
	Стаціонарні
	Навісні (причіпні)
За типом живлення	Електричні
	Дизельні (бензинові)
За продуктивністю	Малої потужності (від 30 до 50 тонн/год)
	Середньої потужності (від 60 до 90 тонн/год)
	Високої потужності (від 100 тонн/год)
За технологічним призначенням (виконуваним операціям)	Вантажно-розвантажувальні зернометальні машини
	Формувальники буртів
	Перелопачуючі зернометальні машини
	Зерноочисно-сепараційні машини
За типом притискного пристрою	З притискним транспортером
	З притискним барабаном
За видом зернового потоку	У вигляді суцільного потоку: - з цілісним барабаном; - з жолобчастим барабаном
	У вигляді окремих порцій: - з лопатевим дозатором; - з ребристою стрічкою; - з лопатевим барабаном
За типом живильника	З пасивним живильником
	З активним живильником: - із шнековим живильником; - з прискорювальною крильчаткою
За типом приводу робочих органів	Електричні
	Гідравлічні
	Комбіновані (електрогідравлічні)
За умов використання	Для відкритих токів
	Для зерносховищ
	Універсальні
За дальністю метання зерна	Малої дальності (до 10 м)
	Середньої дальності (від 10 до 20 м)
	Великої дальності (понад 20 м)
За мобільністю тримера	З фіксованим положенням тримера
	З поворотним тримером
	З регульованою висотою викиду



Рис 1. Самопересувний зернометач ЗМ-60А

Розподіл зернометачів на чіткі класи та групи вирішує кілька ключових завдань:

1. Технічний підбір під завдання. Даний параметр дозволяє фермерам та агропідприємствам обрати модель із потрібною продуктивністю залежно від обсягів виробництва.

2. Оптимізація логістики та сумісності. Даний параметр допомагає врахувати висоту складання зерна та дальність його польоту для завантаження конкретних типів транспорту (від звичайних бортових машин до високобортних зерновозів).

3. Економічна доцільність. Дана складова запобігає перевитратам енергії та коштів. Для невеликих критих токів класифікація допомагає підібрати компактну і менш потужну машину, тоді як для великих відкритих майданчиків — високопродуктивний самохідний комплекс.

4. Оцінка функціональності. Поділ за конструктивними особливостями (самохідні, стаціонарні, навісні, тримерні чи вакуумні) дозволяє чітко розуміти, які додаткові операції може виконувати машина (наприклад, сепарацію, підсушування чи формування буртів).

5. Стандартизація та порівняння. Дана складова полегшує процес сертифікації техніки, порівняння аналогів від різних виробників, а також спрощує пошук запчастин та сервісне обслуговування.

Отже, класифікація зернометачів — це поділ спеціалізованої техніки для завантаження, розвантаження та переміщення зерна на групи за технологічними та конструктивними ознаками. Головною метою цієї

класифікації є підбір оптимального обладнання під конкретні обсяги виробництва та умови зерносховищ.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Spirin A., Borysiuk D., Tsurkan O., Tverdokhlib I., Veselovska N., Edl M. Ways of Intensification of Grass Seed Production. Journal of Engineering Sciences. 2023. 10 (1). P. F11-F19.

2. Михайлов Є., Сербій Є., Задосна Н., та ін. Рекомендації щодо обґрунтування комплексу технічних засобів післязбиральної обробки зерна в умовах півдня України. Техніка і технології АПК. 2016. № 5 (80). С 28-30.

3. Дерев'янко Д.А. Післязбиральна обробка зерна і насіння на зерноочисному заводі «Petkus». Техніка і технології АПК. 2011. № 5. С.14-17.

4. Спірін А.В., Цуркан О.В., Твердохліб І.В., Омельянов О.М. Шляхи інтенсифікації виробництва насіння трав. Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 4 (103). С. 110-120.

5. Анеляк М.М., Кузьмич А.Я., Твердохліб І.В. Обґрунтування режимів роботи молотарки зернозбирального комбайна на насіння багаторічних трав. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2012. Вип. № 10 Т. 2 (59). С. 40-43.

УДК 631.363

РОБОТИЗОВАНІ КОРМОВІ КУХНІ ТА СИСТЕМИ ПІДГОРТАННЯ КОРМІВ

Хмельовський В.С., д-р. техн. наук, професор, khmelovskyi@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України,

Актуальність дослідження. Сучасний розвиток тваринництва передбачає впровадження автоматизованих і роботизованих технологій, спрямованих на підвищення продуктивності праці, оптимізацію використання кормів і зменшення трудомісткості виробничих процесів. Одним із перспективних напрямів модернізації тваринницьких підприємств

є застосування роботизованих кормових кухонь і автономних систем підгортання кормів.

Ключові слова: роботизація, кормова кухня, автоматизація годівлі, робот-підгортач, кормова суміш, тваринництво, точність дозування, механізація.

Мета роботи — провести аналіз конструкцйних особливостей, принципи функціонування та перспективи використання роботизованих кормових кухонь і систем підгортання кормів у сучасному тваринництві.

Основний матеріал. Роботизована кормова кухня являє собою технологічний комплекс, призначений для автоматизації операцій приймання, дозування, подрібнення чи доподрібнення, змішування кормових компонентів та видавання повноцінної кормової суміші. До основних складових таких комплексів належать бункери для зберігання сировини, дозувальні пристрої, подрібнювачі, змішувачі, транспортуючі механізми, датчики та системи автоматичного керування [1, 2].

Застосування роботизованих кормових кухонь дає змогу підвищити точність дозування компонентів, забезпечити постійну повторюваність рецептур і поліпшити контроль технологічного процесу. Використання програмованих контролерів та інформаційних систем створює можливості для обліку витрат кормів, моніторингу роботи обладнання й оперативного виявлення несправностей.

Важливим напрямом роботизації молочних ферм є використання автономних систем підгортання кормів. Під час споживання кормосуміші тварини поступово відсувають її від кормового фронту, що може ускладнювати доступ до корму. Роботи-підгортачі забезпечують регулярне переміщення корму ближче до місця годівлі, підтримуючи його доступність протягом дня.

Конструкція автономного робота-підгортача зазвичай включає ходову частину, електричне урухомлення з акумуляторним живленням, робочий орган, систему навігації, датчики виявлення перешкод, блок керування. Конструкційно робочими органами можуть бути барабани, диски, щітки або спеціальні лопаті. Вибір конструкції залежить від виду корму, ширини проходів, стану підлоги, конфігурації кормового столу та умов утримання тварин.

Ефективність роботизованих систем визначається не лише технічними характеристиками обладнання, а й узгодженістю його роботи з технологією годівлі [3]. Важливими показниками є точність дозування, однорідність

приготовленої кормової суміші, тривалість робочого циклу, енергоспоживання, частота технічного обслуговування та витрати на експлуатацію. Економічне обґрунтування впровадження повинно враховувати початкові капітальні вкладення, скорочення витрат праці, вартість електроенергії, ремонтів і сервісного обслуговування [4].



а б

Рис. 1. Роботизована кормова кухня (а), робот-підгортач (б)

Окремої уваги потребують питання безпеки. Роботизоване обладнання має бути оснащене відповідними захисними пристроями, системами аварійної зупинки та засобами виявлення перешкод. Перед проведенням операцій очищення і ремонтом необхідно зупиняти обладнання, від’єднати від джерела енергії та запобігати випадковому запуску механізмів.

Висновки. Роботизовані кормові кухні та системи підгортання кормів є перспективними засобами механізації й автоматизації тваринницьких підприємств. Їх використання сприяє скороченню трудомісткості операцій, підвищенню регулярності обслуговування кормового столу та вдосконаленню контролю технологічних процесів. Подальше впровадження таких систем потребує обґрунтованого вибору обладнання, оцінювання економічної ефективності, адаптації до умов конкретної ферми й дотримання вимог охорони праці.

Список використаних джерел

1. Гарасимчук І., Думанський О., Панцир Ю. та ін. Застосування робототехніки для автоматизації годування худоби та управління фермами. Науковий горизонт. 2025. Т. 28, № 4. С. 20–31. https://doi.org/10.48077/scihor4.2025.20.

2. Designing and Simulating the Control Process of a Feed Pusher Robot Used on a Dairy Farm. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 22. Article 10665. https://doi.org/10.3390/app112210665.

3. Energy consumption and technical-economic analysis of an automatic feeding system for dairy farms: Results from a field test. Journal of Agricultural Engineering. https://doi.org/10.4081/jae.2018.869.

4. Марченко В. А., Гребінь Л. Г., Трішин О. К., Чигринов Є. І. Параметри технології утримання та годівлі великої рогатої худоби з використанням роботизованого доїння корів.

УДК 633.3:004

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОРМОВИРОБНИЦТВІ

Холодюк О.В., доцент, ORCID iD 0000-0002-4161-6712
Вінницький національний аграрний університет

Головним завданням кормовиробництва є забезпечення тварин достатньою кількістю якісних, повноцінних та збалансованих за вмістом поживних речовин кормів рослинного походження за мінімальних витрат праці та коштів [1].

Цього можна досягти за рахунок: упровадження сучасних технологій вирощування та заготівлі кормових культур, підвищення врожайності кормових культур завдяки використанню високопродуктивних сортів і якісного насіння, раціонального використання земель – поліпшення сіножатей і пасовищ, дотримання сівозмін. Також вагомим у цьому є застосування добрив і засобів захисту рослин для підвищення врожайності та якості кормів; удосконалення заготівлі, переробки й зберігання кормів, що зменшує втрати поживних речовин; розширення посівів кормових культур і правильного їх добору відповідно до потреб тваринництва; комплексного використання кормових ресурсів, зокрема побічної продукції рослинництва.

Одним із перспективних напрямів розвитку галузі кормовиробництва є застосування цифрових технологій, зокрема GPS-навігації, супутникового моніторингу, дронів, датчиків та спеціалізованого комп'ютерного програмного забезпечення, які дають змогу контролювати стан посівів, прогнозувати врожайність, оптимізувати полив і внесення добрив, зменшувати витрати ресурсів та втрати кормів. Використання цифрових технологій сприяє підвищенню продуктивності праці, поліпшенню якості кормів, зниженню собівартості продукції та забезпеченню тваринництва достатньою кількістю поживних кормів протягом року.

Представлена на рисунку 1 система цифрових технологій [2] охоплює всі основні напрями діяльності агропідприємства: планування й аналіз, виробництво, управління та фінанси.

Для галузі кормовиробництва особливе значення має блок цифровізації виробничих процесів (рис. 1), який включає системи моніторингу техніки та посівів, супутниковий моніторинг, точний висів, електронні карти завдань, GPS-навігацію й автопілотування сільськогосподарської техніки. Використання технологій GIS, аналізу даних і дистанційного моніторингу дає змогу оцінювати стан ґрунтів і кормових культур (у різних фазах вегетації), визначати потребу в добривах та засобах захисту рослин, контролювати ріст і прогнозувати врожайність.

Системи збирання та логістики врожаю допомагають оптимізувати строки збирання кормових культур, транспортування й заготівлі, зменшуючи втрати поживних речовин. Важливу роль відіграють мобільні додатки для агрономів та інженерів, які забезпечують оперативний обмін інформацією, контроль виконання робіт і технічного стану машин.

На рівні управління ERP-система, електронний документообіг і бухгалтерські програми об'єднують дані про виробничі витрати, запаси кормів, використання ресурсів, закупівлі та реалізацію продукції.

Фінансові цифрові інструменти дають змогу контролювати бюджет, аналізувати собівартість кормів і планувати інвестиції.

Щодо блоку планування та аналізу в системі цифрових технологій агропідприємства, то він забезпечує планування виробничої діяльності, контроль виконання запланованих робіт і оцінювання результатів господарювання. Блок включає формування виробничого плану та бюджету, контроль виконання планових показників, план-фактний аналіз і управління науково-дослідною та дослідно-конструкторською діяльністю (R&D).

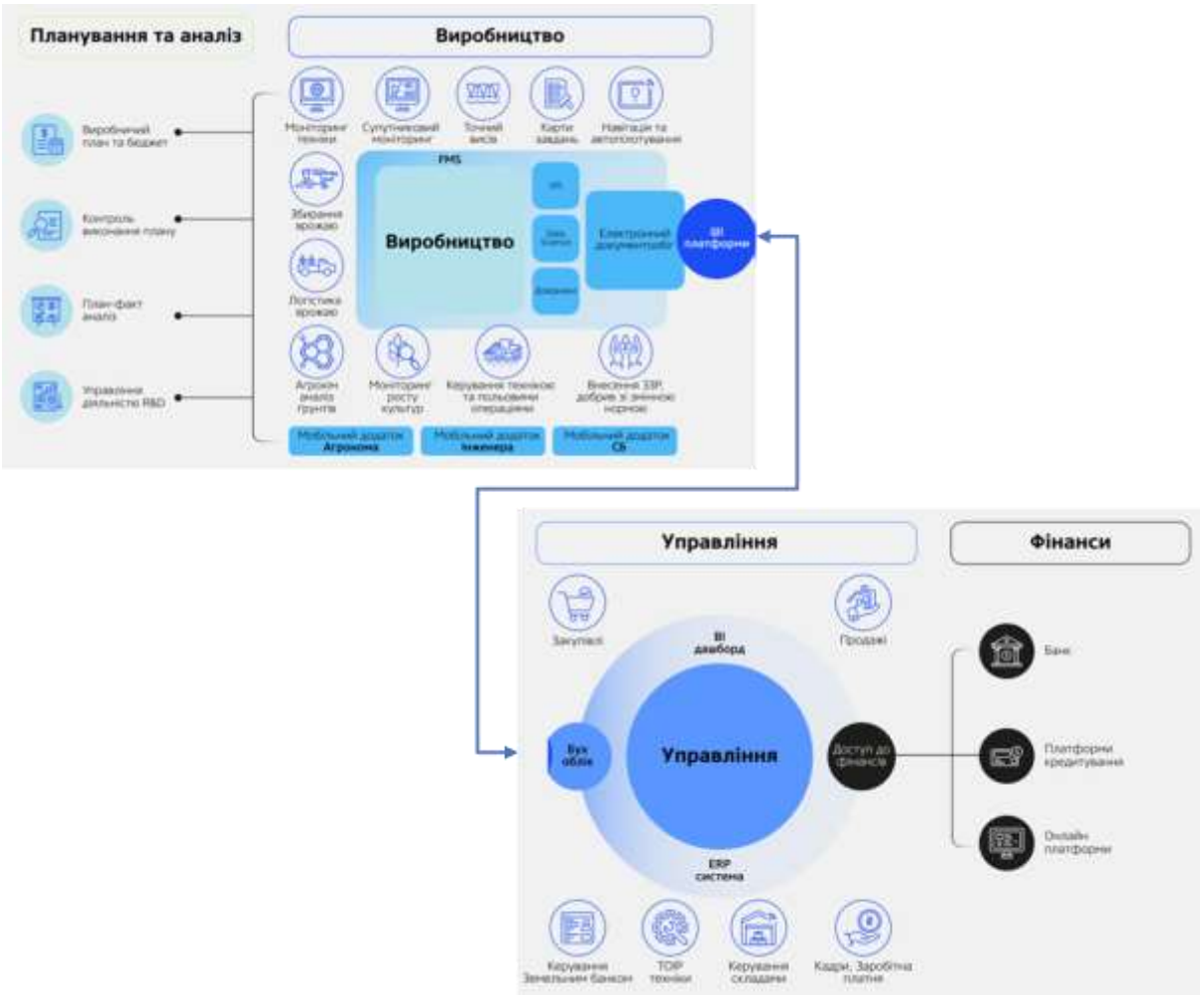

Рис. 1. Система цифрових технологій в агропідприємстві [2]

У кормовиробництві цифрові інструменти цього блоку дають змогу планувати структуру посівних площ і сівозміни, визначати потребу в насінні, добривах, пальному, техніці та трудових ресурсах, прогнозувати врожайність кормових культур і розраховувати обсяги виробництва кормів відповідно до потреб тваринництва. Виробничі плани та бюджети допомагають визначати очікувані витрати й собівартість кормів, а контроль виконання плану та план-фактний аналіз дають можливість порівнювати фактичні результати із запланованими, виявляти відхилення за врожайністю, витратами ресурсів і строками виконання робіт та своєчасно коригувати виробничі процеси. Управління R&D сприяє впровадженню нових сортів кормових культур, удосконаленню технологій вирощування й заготівлі, випробуванню інноваційних методів збереження поживності кормів.

Отже, використання цифрових технологій у кормовиробництві є важливим чинником підвищення ефективності, ресурсозбереження та конкуренто-спроможності агропідприємств. Комплексне застосування GPS-навігації, супутникового моніторингу, GIS-технологій, автоматизованих систем управління, спеціалізованого програмного забезпечення та інструментів аналізу даних забезпечує оптимізацію виробничих процесів на всіх етапах – від планування посівних площ і вирощування кормових культур до збирання, заготівлі, зберігання та управління запасами кормів. Інтеграція цифрових рішень у виробничу, управлінську та фінансову діяльність дає змогу обґрунтовано планувати використання ресурсів, контролювати витрати, своєчасно виявляти відхилення й підвищувати якість управлінських рішень. У результаті впровадження цифрових технологій створюються передумови для зниження собівартості кормів, мінімізації втрат поживних речовин, підвищення продуктивності праці та забезпечення тваринництва якісними й поживними кормами впродовж року. Таким чином, цифровізація кормовиробництва є стратегічним напрямом інноваційного розвитку галузі, що сприяє її економічній ефективності, технологічній модернізації та сталому функціонуванню.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Інноваційні технології у рослинництві: підручник / В.Д. Паламарчук, В.Ю. Кричковський, О.Д. Паламарчук, В.Е. Шуберанський. Вінниця: ФОП Добрянська О.Г., ТОВ «ДРУК-ПЛЮС», 2024. 582 с.
2. Цифрове агро 2026 – вже доступне! URL: https://www.aggeekaggency.com/digitalagro2026 (дата звернення 15.10.2026 р.).

Наукове видання

Матеріали XV-ї Науково-технічної конференції
«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»

01-16 жовтня 2026 року

Відповідальні за видання:

В.І. Ребенко, доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України,
В.В. Ткач, завідувач відділу механіки та автоматики біотехнічних систем у тваринництві ІМА АПВ НААН України

Технічний редактор – *О.В. Пономаренко* (ІМА АПВ НААН України)
Інтернет-редактор – *В.І. Ребенко* (НУБіП України)

Підготовка до видання:
відділ механіки та автоматики біотехнічних систем
у тваринництві ІМА АПВ НААН України;
механіко-технологічний факультет НУБіП України