

Налобіна О. О., д.т.н., професор, Полтавченко Т. В., к.вет.н., доцент, Ковальчук Н. С., к.с.-г.н., доцент, Голотюк М. В., к.т.н., доцент, Пилипака Т. С., к.т.н., доцент, Ювчик Н. О., старший викладач, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.v.valetska@nuwm.edu.ua; t.v.poltavchenko@nuwm.edu.ua; n.s.kovalchuk@nuwm.edu.ua; m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua; t.s.pylypaka@nuwm.edu.ua; n.o.yuvchik@nuwm.edu.ua)

ОПТИМІЗАЦІЯ МІКРОКЛІМАТУ У ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСАХ

Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах є важливим аспектом, що безпосередньо впливає на здоров'я та продуктивність тварин. У статті розглядаються математичні моделі, що дозволяють ефективно керувати температурними режимами, вологістю та концентрацією шкідливих газів у тваринницьких приміщеннях. Вивчено ключові фактори, що впливають на створення комфортних умов для тварин, зокрема ефективність систем вентиляції, обігріву та управління вологістю повітря. Одним із основних завдань є підтримання стабільної температури в приміщенні, яка повинна бути адаптована до зовнішніх погодних умов. За допомогою математичних моделей проаналізовано взаємозв'язок між температурою зовнішнього середовища та внутрішніми умовами приміщення. Моделі дозволяють передбачати зміни температури залежно від сезонних коливань і налаштувань обігрівальних систем, що забезпечує оптимальний температурний режим для тварин. Особливу увагу приділено управлінню вологою, оскільки надмірна вологість або її нестача можуть викликати захворювання або знижувати продуктивність тварин. Висвітлено методи регулювання рівня вологості в приміщеннях за допомогою різних технологій, що забезпечують стабільний мікроклімат. Крім того, в статті розглядається оптимізація вентиляції, що сприяє зниженню концентрації шкідливих газів, таких як аміак і вуглекислий газ. Вентиляційні системи, зокрема інтелектуальні, здатні ефективно виводити ці гази з приміщення, тим самим знижуючи їх концентрацію до безпечного рівня. На основі

побудованих математичних моделей проведено аналіз ефективності різних методів оптимізації мікроклімату та їх впливу на продуктивність тварин. Результати показують, що використання сучасних технологій для управління мікрокліматом дозволяє значно покращити умови утримання тварин, знижуючи рівень захворюваності та збільшуючи продуктивність.

Стаття є важливим кроком до впровадження наукових підходів в аграрну практику, оскільки вона надає можливість передбачити й ефективно регулювати умови утримання тварин, що є основою для стабільного розвитку тваринництва.

Ключові слова: основи тваринництва; мікроклімат; приміщення; оптимізація; математичні моделі; тваринницькі комплекси.

Вступ. Сучасне тваринництво є важливою складовою частиною аграрного сектора економіки, яка сприяє забезпеченню продовольчої безпеки, розвитку сільських територій та створенню робочих місць. Продуктивність і ефективність тваринницьких господарств безпосередньо залежать від багатьох факторів, серед яких одним із найбільш важливих є мікроклімат у приміщеннях для утримання тварин. Тварини, як і люди, потребують комфортних умов для нормального росту, розвитку і функціонування організму, тому оптимізація мікроклімату є запорукою високої продуктивності та здоров'я тварин. У сучасних умовах інтенсивного розвитку аграрного виробництва, коли використовуються новітні технології та методи ведення господарства, підтримання стабільного та комфортного мікроклімату стає одним із головних завдань для аграріїв.

Мікроклімат в тваринницьких приміщеннях охоплює різноманітні параметри, такі як температура, вологість, вентиляція, концентрація шкідливих газів, освітлення та інші фізичні і хімічні умови, що безпосередньо впливають на здоров'я тварин, їхню продуктивність і відтворювальну здатність. Незважаючи на значний розвиток сучасних технологій та механізмів для оптимізації цих параметрів, багато тваринницьких господарств стикаються з проблемами, які виникають через неправильну організацію мікроклімату. Це може призвести до підвищеного рівня стресу серед тварин, розвитку захворювань, зниження продуктивності, а також до

економічних втрат через зниження ефективності використання кормів та інших ресурсів.

Особливістю сучасних тваринницьких комплексів є потреба в інтеграції новітніх технологій для автоматизації процесів контролю і регулювання мікроклімату. Це дозволяє забезпечити не лише ефективне використання ресурсів, але й сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Зокрема, автоматизовані системи вентиляції, опалення, охолодження та освітлення дозволяють більш точно підтримувати оптимальні умови для тварин, регулюючи параметри в реальному часі залежно від зовнішніх умов і потреб тварин. Водночас зменшення енергоспоживання та використання альтернативних джерел енергії є важливими аспектами для зниження витрат і підвищення економічної ефективності.

Сучасні наукові дослідження, спрямовані на оптимізацію мікроклімату у тваринницьких комплексах, базуються на розробці нових підходів до проектування таких приміщень, удосконаленні технологій вентиляції та кондиціонування, використанні енергозберігаючих та екологічно чистих технологій. Все це створює сприятливі умови для здоров'я тварин, покращує їхню продуктивність та дозволяє зменшити витрати на енергоресурси, що особливо важливо в умовах зростаючої конкуренції на ринку сільськогосподарської продукції [1; 2; 3].

Питання оптимізації мікроклімату є надзвичайно актуальним для сучасного тваринництва, оскільки впливає на економічні результати господарства, здоров'я та добробут тварин, а також на екологічну ситуацію в регіоні. Це також є важливим аспектом для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва в цілому. У зв'язку з цим, дослідження і впровадження нових підходів до управління мікрокліматом тваринницьких комплексів є ключовим фактором для досягнення сталого розвитку цієї галузі [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення і оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах є предметом численних наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. Протягом останніх років було здійснено значну кількість публікацій, що висвітлюють різноманітні аспекти цього питання, зокрема, вплив параметрів мікроклімату на здоров'я та продуктивність тварин, а також застосування сучасних технологій для покращення умов

утримання.

Зокрема, дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених підтверджують важливість температурного режиму як одного з головних факторів, що впливають на продуктивність сільськогосподарських тварин. Деякі автори відзначають, що температурний стрес може значно знижувати продуктивність молочних корів, свиней та птиці. Наприклад, дослідження, проведене в університетах США та Європи, показали, що оптимальна температура для великої рогатої худоби складає 10–15° С, тоді як температури, що відхиляються від цієї межі, можуть призвести до зниження молочної продуктивності на 10–20%. Ті ж самі дослідження вказують на негативний вплив високих температур на показники зростання молодяку свиней та птиці, що обумовлюється порушенням терморегуляції організму тварин.

Одним із значущих напрямів останніх досліджень є впровадження автоматизованих систем моніторингу мікроклімату. Завдяки використанню інтернету речей та датчиків для вимірювання температури, вологості, концентрації аміаку та інших шкідливих газів, вдалося значно полегшити процес регулювання мікроклімату. Зокрема, роботи, проведені в Німеччині та Франції, показують високу ефективність автоматизованих систем, які не лише відслідковують параметри мікроклімату, а й вживають необхідні заходи для їх корекції. Такі системи допомагають підтримувати оптимальні умови при мінімальних витратах енергоресурсів і забезпечують максимальну продуктивність тварин [6; 7; 8; 9; 10].

Матеріали та методи дослідження. Для визначення оптимальних параметрів мікроклімату використовувалися сенсори температури, вологості, вмісту газів та інші цифрові пристрої моніторингу. Дані збиралися протягом року у кількох типових тваринницьких комплексах, включаючи ферми для вирощування свиней, корів і птиці. Паралельно проводилося спостереження за фізіологічними показниками та продуктивністю тварин. У дослідженні також використовували математичне моделювання для оцінки впливу різних параметрів мікроклімату на продуктивність.

Виклад основного матеріалу. Оптимальний мікроклімат є сукупністю умов, що забезпечують комфортні умови для тварин із мінімальними витратами ресурсів. Температурний режим є ключовим фактором. Для великої рогатої худоби оптимальними є температури в

межах 8–15° С, для свиней – 18–24° С, для птиці – 18–22° С. Відхилення від цих параметрів може призвести до зниження продуктивності. Системи вентиляції є важливими для регулювання вологості та видалення шкідливих газів. Ефективна вентиляція зменшує концентрацію аміаку, що запобігає виникненню респіраторних захворювань.

Вологість повітря повинна становити 60–80% для підтримання нормального обміну речовин і запобігання пересиханню слизових оболонок у тварин. Використання зволожувачів або осушувачів повітря дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості навіть у складних кліматичних умовах. Освітлення також відіграє важливу роль. Для птиці, наприклад, тривалість світлового дня повинна бути регульованою для стимулювання яйценосності. Системи автоматичного освітлення дозволяють налаштовувати режими залежно від виду та віку тварин.

Застосування автоматизованих систем моніторингу та управління мікрокліматом значно спрощує підтримання оптимальних умов. Ці системи включають датчики для збору даних і програмне забезпечення, що аналізує ці дані в реальному часі та автоматично регулює параметри мікроклімату. Наприклад, у разі підвищення температури система може автоматично активувати вентиляцію або охолоджувальні пристрої.

Важливим аспектом є використання енергоефективних технологій, таких як теплові насоси, сонячні панелі або біогазові установки для забезпечення систем опалення та вентиляції. Це дозволяє знизити витрати на електроенергію та зменшити негативний вплив на довкілля.

Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах має на меті опис та регулювання параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, швидкість повітря, рівень концентрації газів, з урахуванням фізіологічних потреб тварин, а також енергоефективності. Вона може бути використана для автоматизації управління мікрокліматом у приміщеннях для утримання сільськогосподарських тварин.

Однією з основних задач є оптимізація температури в приміщеннях для тварин. Багатофакторні математичні моделі для оптимізації мікроклімату у тваринницьких комплексах враховують одночасний вплив кількох параметрів, таких як температура,

вологість, швидкість повітря, концентрація газів, а також взаємозв'язки між ними. Такі моделі дозволяють оптимізувати мікроклімат з урахуванням складної динаміки процесів та фізіологічних потреб тварин.

Для оптимізації параметрів мікроклімату можна використати інтегральну модель, що враховує взаємодію ключових параметрів:

$$Z = \alpha_1(T - T_{opt})^2 + \alpha_2(H - H_{opt})^2 + \alpha_3(V - V_{opt})^2 + \alpha_4(CO_2 - CO_{2opt})^2, \quad (1)$$

де Z – інтегральний показник відхилення мікроклімату від оптимальних умов; T, H, V, CO_2 – відповідно температура, відносна вологість, швидкість повітря, концентрація вуглекислого газу; $T_{opt}, H_{opt}, V_{opt}, CO_{2opt}$ – оптимальні значення параметрів; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – вагові коефіцієнти, що визначають вплив кожного параметра на загальний мікроклімат.

Енергетичний баланс у тваринницькому приміщенні залежить від параметрів мікроклімату. Загальний енергетичний баланс можна представити як:

$$E_{total} = \beta_1 Q_{heat}(T, H) + \beta_2 Q_{vent}(T, CO_2, V) + \beta_3 Q_{humid}(T, H) + \beta_4 Q_{cool}(T, H), \quad (2)$$

де E_{total} – загальні витрати енергії на забезпечення мікроклімату; $Q_{heat}, Q_{vent}, Q_{humid}, Q_{cool}$ – енергетичні витрати відповідно на опалення, вентиляцію, зволоження та охолодження; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – коефіцієнти енергетичної ефективності.

Модель дозволяє враховувати вплив параметрів мікроклімату на енергоспоживання та оптимізувати витрати енергії.

Взаємозв'язків між параметрами мікроклімату описується, як зміна одного параметра впливає на інші. Так, взаємозалежність між температурою, вологістю та концентрацією газів можна описати системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \gamma_1(Q_{in} - Q_{out}) - \gamma_2(H - H_{opt}) \\ \frac{dH}{dt} = \gamma_3(P_{in} - P_{out}) - \gamma_4(T - T_{opt}) \\ \frac{dCO_2}{dt} = \gamma_5(\dot{V}_{in} - \dot{V}_{out}) - \gamma_6(V - V_{opt}) \end{cases}, \quad (3)$$

де $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ – коефіцієнти, що визначають швидкість змін параметрів; Q_{in}, Q_{out} – тепло, що надходить і виходить; P_{in}, P_{out} – потоки вологи; $\dot{V}_{in}, \dot{V}_{out}$ – потоки повітря, що надходять і виходять.

Ця модель дозволяє прогнозувати динаміку змін мікроклімату залежно від різних факторів.

Для мінімізації енергетичних витрат можна використовувати багатофакторну оптимізаційну модель:

$$\min Z = E_{total}, \text{ за умови } \begin{cases} T_{min} \leq T \leq T_{max} \\ H_{min} \leq H \leq H_{max} \\ CO_{2max} \geq CO_2 \\ V_{min} \leq V \leq V_{max} \end{cases}, \quad (4)$$

де $T_{min}, T_{max}, H_{min}, H_{max}, V_{min}, V_{max}, CO_{2max}$ – допустимі межі параметрів мікроклімату.

Оптимізація проводиться чисельними методами Лагранжа або генетичними алгоритмами.

Розв'язок математичного моделювання оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах покажемо у вигляді графічних залежностей (рис. 1–3).

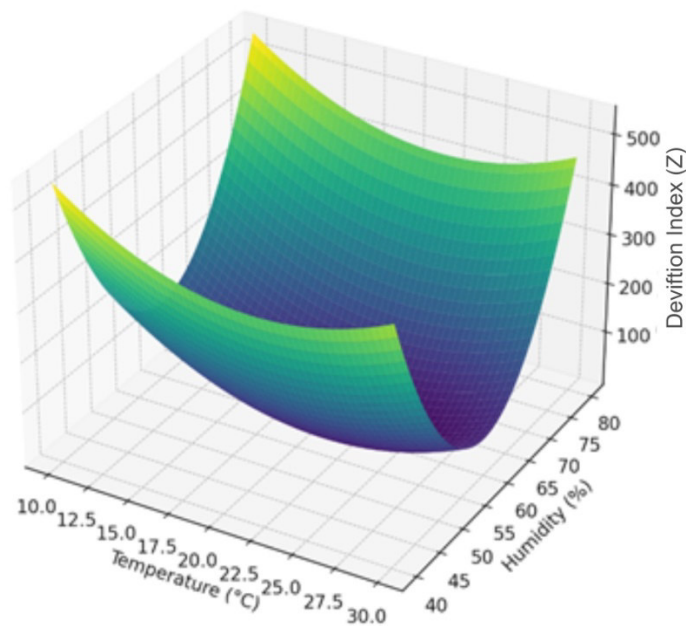


Рис. 1. Відхилення параметрів мікроклімату

На графіку (рис. 1) представлено відхилення температури і вологості від оптимальних значень. Залежність демонструє, що

38

мінімальне відхилення спостерігається в точці, близькій до оптимальних параметрів. Відхилення різко збільшується при віддаленні від цих значень. Це свідчить про чутливість мікроклімату до змін параметрів і необхідність точного регулювання температури та вологості.

Аналіз графічної залежності (рис. 2), що витрати мінімальні у точці оптимальних параметрів, але суттєво зростають при значних відхиленнях. Так, при низькій температурі або високій вологості потреба в енергоресурсах зростає експоненційно. Це підкреслює важливість балансу для зменшення витрат.

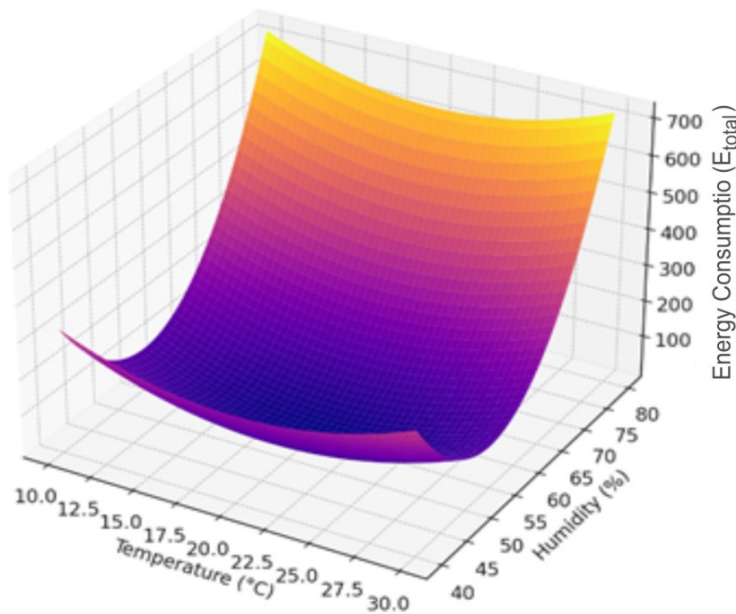


Рис. 2. Енергетичні витрати на підтримання комфортного мікроклімату

На графіку (рис. 3) наведено залежність між температурою і концентрацією CO₂. Найнижчі значення відхилення спостерігаються в районі оптимальних параметрів, однак будь-яке збільшення або зменшення концентрації CO₂ різко підвищує індекс відхилення. Це свідчить про те, що контроль за CO₂ є критично важливим для підтримання комфортного середовища.

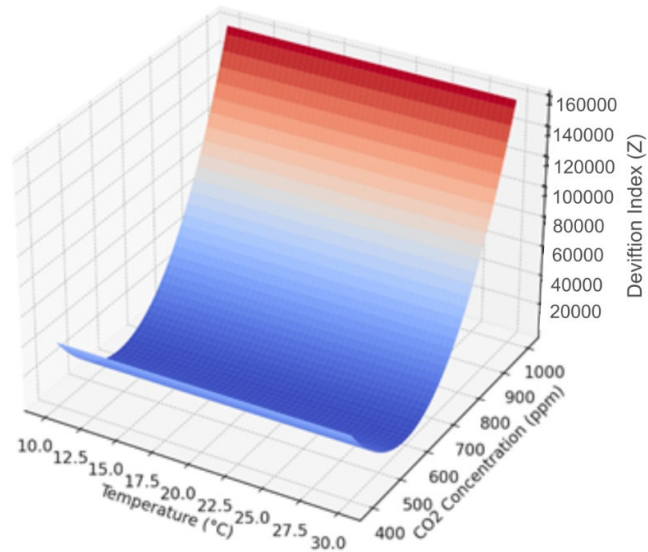


Рис. 3. Відхилення температури і концентрації CO₂

Графічні залежності підтверджують, що оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах дозволяє суттєво зменшити енергетичні витрати та покращити комфортність середовища. Мінімізація відхилень мікрокліматичних параметрів є ключовим завданням, оскільки навіть невеликі зміни можуть призвести до значного погіршення умов та зростання витрат. Застосування моделювання дозволить більш точно визначити налаштування систем управління мікрокліматом, що сприятиме ефективному функціонуванню тваринницьких комплексів.

Висновки. Оптимізація мікроклімату у тваринницьких комплексах є важливою складовою забезпечення здоров'я та продуктивності тварин. У статті розглянуто математичні моделі, які дозволяють ефективно управляти температурним режимом, вологістю повітря та концентрацією шкідливих газів у приміщеннях. Використання цих моделей на практиці може значно підвищити якість умов утримання тварин, що сприятиме зростанню їх продуктивності та зниженню рівня захворюваності.

Температурний режим у тваринницьких комплексах залежить від зовнішніх погодних умов та ефективності систем обігріву і вентиляції. Врахування зовнішніх температурних коливань і адаптація внутрішніх параметрів дозволяють зберігати стабільну температуру, необхідну для комфортного перебування тварин.

Вологість повітря, як важливий фактор для здоров'я тварин, також оптимізується шляхом управління вологісними потоками в приміщенні. Правильне регулювання вологості дозволяє уникати небезпечних коливань, що можуть спричинити хвороби або знижувати продуктивність тварин.

Концентрація шкідливих газів контролюється за допомогою ефективних вентиляційних систем, що сприяє створенню безпечних умов для життя тварин, запобігаючи накопиченню газів, таких як аміак чи вуглекислий газ.

Використання багатофакторних математичних моделей для аналізу та оптимізації мікроклімату є ефективним інструментом для проєктування і управління тваринницькими комплексами. Ці моделі дозволяють передбачати зміни в мікрокліматичних умовах і своєчасно коригувати параметри, що забезпечує стабільне і здорове середовище для тварин. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на вдосконалення цих моделей, враховуючи нові технічні рішення та технології, що дозволяють ще точніше регулювати умови утримання тварин.

1. Барбашова О. І., Бобкова О. В. Вплив мікрокліматичних умов на продуктивність тварин. *Науковий вісник аграрного університету*. 2021. № 15. С. 45–50. **2.** Давиденко В. В., Коваленко М. О. Оцінка впливу температурного режиму на продуктивність великої рогатої худоби. *Журнал тваринництва України*. 2020. Т. 4, № 7. С. 112–118. **3.** Ткаченко Ю. І., Семенов А. В. Моделювання впливу мікроклімату на здоров'я та продуктивність тварин. *Аграрні технології та інженерія*. 2022. № 3. Т. 29. С. 89–95. **4.** Нечипорук С. М., Левченко І. П. Автоматизація управління мікрокліматом у тваринницьких комплексах. *Сільськогосподарські механізми та інженерія*. 2021. Т. 13, № 6. С. 45–51. **5.** Федоренко В. І., Петренко О. Ю. Вентиляція та освітлення в тваринницьких приміщеннях: оптимізація параметрів для покращення здоров'я тварин. *Агротехніка та біотехнології*. 2022. Т. 19, № 4. С. 110–116. **6.** Маркевич А. Г. Використання інтернету речей у моніторингу мікроклімату тваринницьких комплексів. *Інноваційні технології в аграрній науці*. 2021. Т. 5, № 2. С. 70–75. **7.** Гречанюк М. В., Каплун Л. Ю. Мікроклімат як фактор ризику для продуктивності сільськогосподарських тварин. *Аграрна наука України*. 2020. Т. 24, № 12. С. 98–104. **8.** Іванов О. А., Мельник О. І. Вплив вологості та газового складу повітря на здоров'я тварин в умовах сучасних комплексів. *Тваринницька наука України*. 2022. Т. 10, № 3. С. 57–63. **9.** Дьяків О. І., Морозова Н. І. Системи вентиляції у тваринницьких комплексах: підвищення ефективності. *Аграрні інженерні технології*. 2021. Т. 7, № 5.

С. 35–41. **10.** Литвиненко А. В. Технології зниження енергоспоживання в тваринницьких приміщеннях. *Енергозберігаючі технології в аграрному виробництві*. 2021. Т. 16, № 4. С. 91–97.

REFERENCES:

1. Barbashova O. I., Bobkova O. V. Vplyv mikroklimatychnykh umov na produktyvnist tvaryn. *Naukovyi visnyk ahrarnoho universytetu*. 2021. № 15. S. 45–50.
 2. Davydenko V. V., Kovalenko M. O. Otsinka vplyvu temperaturnoho rezhymu na produktyvnist velykoi rohatoi khudoby. *Zhurnal tvarynnytstva Ukrainy*. 2020. Т. 4, № 7. S. 112–118.
 3. Tkachenko Yu. I., Semenov A. V. Modeliuvannya vplyvu mikroklimatu na zdorovia ta produktyvnist tvaryn. *Ahrarni tekhnologii ta inzheneriia*. 2022. № 3. Т. 29. S. 89–95.
 4. Nechyporuk S. M., Levchenko I. P. Avtomatyzatsiia upravlinnia mikroklimatom u tvarynnytskykh kompleksakh. *Silskohospodarski mekhanizmy ta inzheneriia*. 2021. Т. 13, № 6. S. 45–51.
 5. Fedorenko V. I., Petrenko O. Yu. Ventyliatsiia ta osvittleniia v tvarynnytskykh prymishchenniakh: optymizatsiia parametriv dlia pokrashchenniia zdorovia tvaryn. *Ahrotekhnika ta biotekhnologii*. 2022. Т. 19, № 4. S. 110–116.
 6. Markevych A. H. Vykorystannia internetu rechei u monitorynhu mikroklimatu tvarynnytskykh kompleksiv. *Innovatsiini tekhnologii v ahrarnii nautsi*. 2021. Т. 5, № 2. S. 70–75.
 7. Hrechaniuk M. V., Kaplun L. Yu. Mikroklimat yak faktor ryzyku dlia produktyvnosti silskohospodarskykh tvaryn. *Ahrarna nauka Ukrainy*. 2020. Т. 24, № 12. S. 98–104.
 8. Ivanov O. A., Melnyk O. I. Vplyv volohosti ta hazovoho skladu povitria na zdorovia tvaryn v umovakh suchasnykh kompleksiv. *Tvarynnytska nauka Ukrainy*. 2022. Т. 10, № 3. S. 57–63.
 9. Diakiv O. I., Morozova N. I. Systemy ventyliatsii u tvarynnytskykh kompleksakh: pidvyshchenniia efektyvnosti. *Ahrarni inzhenerni tekhnologii*. 2021. Т. 7, № 5. S. 35–41.
 10. Lytvynenko A. V. Tekhnologii nyzhenniia enerhospozhyvanniia v tvarynnytskykh prymishchenniakh. *Enerhozberihaiuchi tekhnologii v ahrarnomu vyrobnytstvi*. 2021. Т. 16, № 4. S. 91–97.
-

Nalobina O. O., Doctor of Engineering, Professor, Poltavchenko T. V., Candidate of Veterinary Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Kovalchuk N. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Holotiuk M. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Pylypaka T. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Yuvchuk N. O., Senior Lecturer (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

OPTIMIZATION OF THE MICROCLIMATE IN LIVESTOCK COMPLEXES

Optimizing the microclimate in livestock complexes is an important aspect that directly affects the health and productivity of animals. The article examines mathematical models that allow effective management of temperature regimes, humidity and concentration of harmful gases in livestock premises. The key factors affecting the creation of comfortable conditions for animals, including the effectiveness of ventilation, heating and air humidity management systems, were studied. One of the main tasks is to maintain a stable temperature in the room, which must be adapted to the external weather conditions. With the help of mathematical models, the relationship between the temperature of the external environment and the internal conditions of the room was analyzed. The models allow predicting temperature changes depending on seasonal fluctuations and settings of heating systems, which ensures the optimal temperature regime for animals. Particular attention is paid to moisture management, as excess or lack of moisture can cause disease or reduce animal productivity. The methods of regulating the level of humidity in the premises using various technologies that ensure a stable microclimate are highlighted. In addition, the article considers the optimization of ventilation, which helps to reduce the concentration of harmful gases, such as ammonia and carbon dioxide. Ventilation systems, in particular intelligent ones, are able to effectively remove these gases from the room, thereby reducing their concentration to a safe level. On the basis of the constructed mathematical models, an analysis of the effectiveness of various microclimate optimization methods and their impact on animal productivity was carried out. The results show that the use of modern technologies for microclimate management can significantly improve

the conditions of keeping animals, reducing the level of morbidity and increasing productivity.

The article is an important step towards the implementation of scientific approaches in agricultural practice, as it provides an opportunity to predict and effectively regulate the conditions of animal husbandry, which is the basis for the stable development of animal husbandry.

***Keywords:* basics of animal husbandry; microclimate; premises; optimization; mathematical models; livestock complexes.**