

УДК 631.223.6:628.86

doi 10.37143/0371-4365-2022-77-78-09

МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧНА ОЦІНКА МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ МЕТОДОМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ

М. С. Небилиця, О. В. Бойко

Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН,
вул. Пастерівська, 76, м. Черкаси, Україна, 18036

Вступ. Актуальність роботи зумовлена необхідністю конструктивної трансформації багато-блокової вимірювальної системи АПСЕ-7 у моно-блокову, для проведення досліджень мікроклімату тваринницьких приміщень. Робота з розроблення лабораторного зразка моно-блокового аналізатора мікроклімату проводиться в Україні вперше. **Метою досліджень** було впровадження методу безперервної автоматичної реєстрації вимірювань мікроклімату тваринницьких приміщень, скорочення вартості та кількості технічних засобів, спрощення процесу налаштування вимірювань, для підвищення продуктивності праці технологів і наукових співробітників. **Методи.** Застосовано аналітичні, математичні, фізичні, економічні методи дослідження та методи конструювання і програмування електронних засобів вимірювання. На основі нашої попередньої розробки, та огляду матеріалів літературних джерел, обґрунтовано переваги вимірювальної системи «Аналізатор повітряного середовища електронний моно-блоковий» (АПСЕ-М). Виготовлено лабораторний зразок приладу з програмним забезпеченням (розробник Черкаська ДСБ НААН). Розроблено алгоритм мульти-параметричної оцінки мікроклімату приміщень, методом безперервної автоматичної реєстрації, за використання АПСЕ-М. **Результати.** Установлено, що прилади для вимірювань мікроклімату, провідних виробників ПАТ «Укрналіт», ТОВ «Комплексні автоматизовані системи» та фірм «Delta Opt», «Luma Sense Technologies A/S», не повною мірою відповідають вимогам моніторингу у виробничих умовах тваринницьких приміщень, згідно існуючої методики. Основна інноваційна перевага АПСЕ-М полягає в можливості автоматичної реєстрації добових коливань не менше десяти параметрів мікроклімату, зокрема, і дрібних часток суспендованого пилу фракцій PM_{10} , $PM_{2,5}$ і PM_{10} та низьких об'ємних концентрацій забруднюючих газів CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , з інтервалом часу в 6 хвилин. Вимірювальна система має технічну перевагу, в порівнянні з прототипом «Еколаб», зокрема: за меншої ваги на 30 %, характеризується більшим, в 9 раз, часом безперервної роботи від акумулятора, безпровідним зв'язком, можливістю дистанційної передачі результатів вимірювань. **Висновки.** Для функціонування вимірювальної системи АПСЕ-М розроблено методiku мульти-параметричної оцінки мікроклімату методом безперервної автоматичної реєстрації. Економічна перевага АПСЕ-М полягає в тому, що вона є дешевшою в 4,4 рази, у порівнянні з прототипом, та дешевшою

Небилиця Микола Степанович, к. с.-г. наук, зав. відділу тваринництва та виробництва екологічно чистої продукції,

e-mail: nebilitsia@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0001-5509-8787>

Бойко Олександр Васильович, к. с.-г. наук, директор станції,

e-mail: aleksboy18@meta.ua

<https://orcid.org/0000-0002-3917-5583>

на 22,9 %, у порівнянні з попередньою багато-блоковою вимірювальною системою.

Ключові слова: вимірювальна система, параметр, оцінка, мікроклімат, тваринницьке приміщення, метод визначення.

Вступ. Створення для свиней комфортних умов мікроклімату, згідно нормативних положень [1], дозволяє більш повно використовувати потенціал продуктивних якостей, зумовлений їх спадковістю. Дослідження низки вчених [2–5] і спостереження технологів свідчать про те, що в багатьох тваринницьких приміщеннях, мікроклімат часто не відповідає зоогігієнічним вимогам. За даними наших досліджень [6, 7], за природної системи вентиляції, важко забезпечити нормативні параметри мікроклімату особливо в зимовий і літній періоди року. У зв'язку з цим, зниження середньодобових приростів молодняку свиней в спекотний літній період може становити від 13,0 до 26,5 %, а в морозні дні зимового – від 22,5 до 40,0 %, від запланованого рівня продуктивності 550-600 г.

Масові концентрації таких важливих забруднювачів повітря, як дрібні фракції суспендованих речовин $PM_{2,5}$ і PM_{10} (до складу яких входять як тверді мікрочастинки, так і дрібні краплинки рідин, розміром від 10 нм до 1,0 та 2,5 мкм або FSP (fine suspended particles, fine particulate matter, дрібнодисперсні зважені частинки, тонкодисперсний пил) – до цього часу в Україні не контролюються [8], зокрема, і при проведенні досліджень мікроклімату тваринницьких приміщень. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) особливу небезпеку для людей і тварин становить дрібнодисперсний пил з розміром частинок до 10 мкм, який легко проникає в органи дихання, а частинки $PM_{2,5}$ навіть можуть потрапляти безпосередньо в кровоносну систему, вражаючи серце, дихальні шляхи та інші органи [9].

У свиней, як і в решти сільськогосподарських тварин, у процесі нормального травлення, за рахунок протікання мікробіологічних процесів, у кишківнику синтезується метан. Крім того, цей газ утворюється при зберіганні або переробці гною. Він відноситься до 4 класу небезпечності [10], у високих концентраціях проявляє слабку наркотичну дію. За даними досліджень [11], при хронічному впливі низьких концентрацій в повітрі, метан може негативно діяти на роботу центральної нервової системи. При цьому, існує проблема вимірювання забрудненості повітря тваринницьких приміщень метаном за низьких об'ємних концентрацій, оскільки для цього на ринку відсутні недорогі прилади чи датчики. З метою вирішення цієї проблеми швейцарськими вченими з університету Лінчепінга було розроблено спосіб калібрування недорогого термokatалітичного датчика метану, який дозволяє вимірювати потоки цього газу за дуже низьких об'ємних концентрацій [12].

Існує дуже багато різних методик визначення шкідливих речовин у повітряному середовищі (більше 200) і класифікувати їх важко, бо вони можуть одночасно відповідати різним вимогам класифікації. Проте, існує чотири основних методи визначення шкідливих речовин у повітрі: *візуальний* (попередній), *лабораторний* (найточніший), *експрес-метод* (менш точний), *метод безперервної автоматичної реєстрації* (найперспективніший), оскільки дозволяє швидко одержати необхідні дані про загазованість повітря, але потребує відносно складної та достатньо дорогої апаратури та газовимірювальних приладів для проведення аналізу [13].

Мета досліджень. Метою роботи було впровадити метод безперервної автоматичної реєстрації вимірювань, скорочення вартості та кількості технічних

засобів вимірювань, для підвищення продуктивності праці наукових співробітників, технологів і фахівців ветеринарної медицини.

Матеріали та методи досліджень. Застосовано аналітичні, фізичні, економічні та математичні методи дослідження. На основі наших попередніх досліджень, та матеріалів праць періодичних наукових видань, обґрунтовано переваги вимірювальної системи «Аналізатор повітряного середовища електронний моно-блоковий» (АПСЕ-М). Виготовлено лабораторний зразок приладу та розроблено його програмне забезпечення. Для калібрування датчиків вимірювання CO₂, H₂S, NH₃ та CH₄ використовували сертифіковані калібрувальні газові суміші (№ 100-44/21; № 1122-44/21; № 1121-44/21 та 99-44/21) в 2 л балонах високого тиску виготовлені ДП «Укрметртестстандарт» та вентиль УТР-1 з манометром. Для розміщення трьох приладів всередині приміщення на висоті 50–60 см від рівня підлоги використовували штативи для лазерних рівнів FD-150. Для розміщення приладу зовні приміщення на висоті 180–200 см від рівня землі використовували штангу-штатив для лазерного рівня з дерев'яною метеорологічною будкою, в нашій модифікації.

Результати дослідження та їх обговорення. За даними М. М. Скрипник, В. О. Коваль (1989), при розробці нових приладів і вимірювальних систем за основу необхідно брати блочно-модульний принцип, тому що використовуючи стандартні вузли, можна створювати вимірювальні системи будь-якої складності, надавати їм нові функціональні можливості [14].

Розробка та експлуатація вимірювальних систем повітряного середовища приміщень, які мають у своєму складі газоаналізатори, вимагає обов'язкового градування їх датчиків з використанням газових сумішей. Для забезпечення єдності газоаналітичних вимірювань у 2003 р. в Укрметртестстандарті було розроблено Державний первинний еталон одиниці молярної частки компонентів у газових середовищах. Еталон забезпечує створення та зберігання одиниці молярної частки 33 газових компонентів в діапазоні значень молярної частки від $1,0 \cdot 10^{-7}$ до 99,9 % [15]. Основним критерієм, на основі якого визначається тип приладу, може бути група технічних характеристик, що характеризує принципові технічні можливості системи, а саме: метод вимірювання, відносні похибки вимірювання, температура газів у точці взяття проби тощо [16].

Огляд літературних джерел [17–20] свідчить про те, що наразі прилади українських виробників (ПАТ «Украналіт», ТОВ «Комплексні автоматизовані системи») та закордонних (італійської фірми «Delta Ohm», датської фірми «Luma Sense Technologies A/S»), не повною мірою відповідають вимогам моніторингу мікроклімату в тваринницьких приміщеннях, згідно сучасної методики [21, 22]. Враховуючи зазначене вище, науковцями Черкаської ДСБ НААН розроблено інноваційну моно-блокову вимірювальну систему (АПСЕ-М) згідно таких технічних вимог: напруга - 3,3–5,0 В; струм не більше 200 мА; наявність радіо модуля для зв'язку; кількість параметрів - не менше 10; тривалість безперервної автономної роботи впродовж 2–3 діб; компактність та простота в обслуговуванні; використання стандартизованої елементної бази тощо. Вона розрахована на моніторинг понад десяти показників, зокрема і дрібних часток суспендованого пилу фракцій PM₁, PM_{2,5} і PM₁₀ та низьких об'ємних концентрацій забруднюючих газів CO₂, NH₃, H₂S, CH₄. Основним прототипом вимірювальної системи за технічними характеристиками є портативний моноблочний газоаналізатор «Еколаб» ТОВ «Екопроект» [20]. Однак, як свідчить розрахунок, він має значно вищу вартість одного приладу (понад 130,7 тис. грн., згідно існуючого на початок 2021 року рівня курсу валют). Оскільки для моніторингу мікроклімату, згідно

методики, їх необхідно мати чотири, то загальна сума вартості становитиме 522,8 тис. грн., що більше майже в 4,4 рази від чотирьох моноблочних АПСЕ-М ($30,0 \times 4 = 120,0$ тис. грн., за умови налагодження серійного виробництва).

Необхідно зазначити, що АПСЕ-М, за більш прийнятної вартості, характеризується деякими технічними перевагами, зокрема: має меншу масу приладу на 30 %, більшу тривалість часу безперервної роботи від акумулятора в 9 раз, наявність безпроводного зв'язку, можливість передачі результатів вимірювань дистанційно на веб-сайт Інтернет-ресурсу.

Необхідно зазначити, що попередньо розроблена вимірювальна система (АПСЕ-7) [23] наразі є дещо громіздкою і більш придатною для комплексного проведення екологічних досліджень повітря, ніж мікроклімату тваринницьких приміщень. У зв'язку з цим, було технічно проведено трансформацію багато блокової вимірювальної системи в моно-блокову, яка дозволила на 7004 грн. (або на 22,9 %) здешевити елементну базу. Такого результату було одержано за рахунок зменшення кількості корпусів, мікроконтролерів, радіо-модулів, мікрореле, мікроконтролерів, акумуляторних батарей, мікросхем пам'яті, модулів ТФТ дисплеїв, друкованих плат, органів управління та керування. Після проведеної оптимізації елементної бази було внесено ряд конструктивних змін та розроблено конструкторську документацію (КД) для виготовлення лабораторного зразка АПСЕ-М. Зокрема, застосовано аналогічного типу але більших розмірів (171x121x65 мм) модифікований корпус G212C-MF, більший (84x56 мм) модуль ТФТ дисплею (для відображення буквенної і цифрової інформації більш крупним шрифтом), удосконалено конструкцію тримача газових датчиків та роботу датчика освітленості (за рахунок вбудови у кришку моноблоку напівсфери з світлофільтром діаметром 25мм із захисним кільцем темного кольору). Крім цього, підсилено систему живлення додатковим комплектом акумуляторних батарей (Powerbank) та розроблено підставну камеру для можливості підняття корпусу на висоту 25–30 мм над горизонтальною чи вертикальною поверхнею точки вимірювання, застосовано нижній відбір проб повітря дифузним методом (з метою меншого запилення чутливих елементів електро-хімічних датчиків).

Для комплексного дослідження мікроклімату будь-якого тваринницького приміщення вимірювальна система, в складі чотирьох АПСЕ-М, може замінити до 14 одиниць відомих метеорологічних та газоаналітичних приладів (універсальний газоаналізатор УГ-2, люксметр, пило- і шумомір, добові чи тижневі термограф, гігрограф та барограф тощо). Основна інноваційна перевага приладу полягає в можливості безперервної реєстрації в часі змін, не лише показників атмосферного тиску, температури і відносної вологості повітря, а понад десяти параметрів мікроклімату. Лабораторний зразок АПСЕ-М, після монтажу, налагодження та калібрування повірочними газовими сумішами (ПГС), був апробований в умовах племрепродукторної свиноферми Черкаської ДСГДС ННЦ ІЗ НААН.

Згідно положень [24], експериментальні дослідження проводять два-три дні підряд, безпосередньо в приміщеннях де утримують тварин, за періодами року та з частотою передбаченою конкретною методикою досліджень. Площа робочої зони приміщення ділиться приблизно на три рівних частини. Вимірювальні моноблоки 1, 2, 3 розташовують в трьох центральних точках по діагоналі умовно поділеного приміщення на висоті знаходження тварин на достатній віддалі від засобів обігріву чи охолодження приміщення.

Зовнішній вимірювальний моноблок 4 розміщують в метеорологічній будці (на віддалі 2–3 м від фронтальної сторони будівлі на висоті 180–200 см над

поверхнею землі), ближче до середньої частини тваринницького приміщення. Висота розміщення вимірювальних моноблоків 1, 2, 3 у приміщенні має бути на рівні розміщення тварин у станках. З метою уніфікації засобів фіксації моноблокових приладів на задану висоту (висоту розміщення тварин від 47 до 100 см), рекомендується застосування трьох підсилених штативів (будь-якої торгової марки) для максимальної висоти 120 або 150 см та одну штангу-штатив для лазерного рівня. Для цього потрібно додатково виготовити чотири металеві пластини товщиною 2 мм і розміром (130 x 210) міліметрів. Кожну пластину обладнують чотирма отворами по кутах периметру діаметром 10мм і приварною гайкою 2М16х1,5 по центру. Чотири отвори по периметру металевих пластин забезпечують болтово-гайкові з'єднання корпусів приладів АПСЕ-М та дерев'яної метеорологічної будки з такими розмірами В470 x Д340 x Ш300 міліметрів. Приварна гайка слугує для жорсткого з'єднання металеві пластины з болтом штатива (рис.).

Місце встановлення моно-блокових приладів повинно виключати: можливість нагрівання корпусів прямими сонячними променями, вібрації, високу вологість (понад 95 % з конденсацією) та підвищену запиленість повітря, які можуть впливати на роботу датчиків.

Після тридобового моніторингу потрібно зчитати з внутрішньої пам'яті мікропроцесора кожного моноблока дані вимірювань мікроклімату за кожний добовий період та зберегти у форматі Excel, згідно алгоритму наведеному в Інструкції користувача. Після цього формують дві папки з середньодобовими даними моніторингу мікроклімату в форматі Excel, зокрема: всередині та зовні приміщення за кожним параметром. Оскільки добовий моніторинг здійснюється одночасно в трьох точках всередині приміщення трьома моно-блоковими приладами, спочатку необхідно визначити середньоарифметичні значення по кожному з 12 параметрів (з $n=240$). Потім необхідно визначити середньоарифметичні значення по кожному параметру за кількість днів (n) впродовж якої проводилися дослідження.



Рис. Зовнішній вигляд вимірювальної системи АПСЕ-М, укомплектованої метеорологічною будкою та штативами для тримання на висоту розміщення тварин.

На наступному етапі потрібно розрахувати за кожним параметром електронної бази даних такі статистичні показники, як середньодобове арифметичне значення (з $n = 240$), його помилку, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, коефіцієнт кореляції і його вірогідність у порівнянні з зовнішнім повітрям. На кінцевому етапі визначають кореляційні та регресійні зв'язки між парами ознак мікроклімату повітря та проводять графічний аналіз середньодобових параметрів за періодами року.

Алгоритм щодо графічного відображення середньодобових показників мікроклімату полягає в тому, що в прямокутній системі координат по горизонтальній осі (абсцис або часової координати) задається показник часу від нуля до 24 години. По вертикальній осі (ординат) задається значення того чи іншого показника мікроклімату. Кожна точка в двовимірній системі координат задається двома числами, які формують впорядковану пару чисел (година і показник), а оскільки значення показника вимірюється через кожні 6 хв. впродовж доби, то таких пар нараховується 240. Точки перетину цих пар формують криву лінію, яка відображає динаміку змін показника в часі впродовж доби.

На основі аналізу графічних матеріалів досліджень відзначають періоди і тривалість найбільших відхилень показників мікроклімату від нормативних, в тому числі критичних значень, і обґрунтовують їх можливий негативний вплив на продуктивність та здоров'я тварин. Рекомендують управлінські заходи щодо удосконалення роботи систем вентиляції, охолодження, обігріву та видалення гною, керуючись принципами покращення енергоефективності тваринницького приміщення.

Висновки. 1. Прилади провідних українських виробників ПАТ «Украналіт» і ТОВ «Комплексні автоматизовані системи» та закордонних фірм «Delta Ohm» і «Luma Sense Technologies A/S» не відповідають, повною мірою, вимогам моніторингу мікроклімату тваринницьких приміщень, згідно існуючої методики.

2. Вимірювальна система АПСЕ-7 конструктивно є більш придатною для проведення екологічних досліджень повітря, ніж мікроклімату тваринницьких приміщень. У зв'язку з цим, конструктивно потребувала трансформації в моно-блокову вимірювальну систему АПСЕ-М.

3. За технічними характеристиками основним прототипом вимірювальної системи АПСЕ-М є портативний моно-блоковий газоаналізатор «Еколаб» ТОВ «Екопроект».

4. Вимірювальна система АПСЕ-М є дешевшою, порівняно з прототипом - у 4,4 рази та на 22,9 %, порівняно з багато-блоковою вимірювальною системою.

5. Розроблено алгоритм мультипараметричної оцінки показників мікроклімату методом безперервної автоматичної реєстрації, для функціонування вимірювальної системи АПСЕ-М.

Перспективи подальших досліджень. Пропонуємо впровадити методику моніторингу та оцінки мікроклімату тваринницьких приміщень вимірювальною системою АПСЕ-М в умовах виробництва, для оптимізації роботи систем вентиляції, охолодження, обігріву та видалення гною.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, невеликі сільські господарства) : ВНТП-АПК 02.05. Київ: Мінагрополітики України, 2005. 98 с.
2. Ходосовский Д. Н. Формирование микроклимата в свиноводческих зданиях в различные сезоны года. *Современные проблемы и технологические инновации в производстве свинины в странах СНГ*: сб. науч. тр. XX Междунар.

науч.-практ. конф., 20–21 июня 2013 г., Чебоксары: КУП Чувашской Республики «Агро-Инновации», 2013. С. 382–385.

3. Шевченко О. Б. Особливості взаємозв'язку показників природної резистентності та росту свиней при різних параметрах мікроклімату. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини* : зб. наук. пр. / Харків. держ. зоовет. акад. Харків : РВВ ХДЗВА, 2004. Вип. 12 (36). Ч. 1. С. 230–239.

4. Хохлов А. М., Пронь Е. В., Данилова Т. Н. 2009. Требования зоогигиены к свиноводческим помещениям. *Проблемы животноводства* : сб. науч. тр. Белгородской ГСХА. Белгород, 2009. С. 184–186.

5. Черный Н. В. Микроклимат в современных животноводческих помещениях. Харьков, 1995. С. 38.

6. Небилиця М. С. Добові зміни основних параметрів мікроклімату в реконструйованому приміщенні для свиней у весняно-літній період року. *Вісник Черкаського інституту АПВ*. міжвідом. темат. зб. наук. пр. Черкаси, 2011. Вип. 11. С. 161–168.

7. Небилиця Н. С. Мониторинг показателей температуры воздуха свиноводческих помещений в жару. *Научный фактор в стратегии инновационного развития свиноводства : материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф. (9–11 сент. 2015 г.)*. Гродно : ГГАУ, 2015. С. 363–366.

8. Натрус С. П., Стригіна М. В. Забруднення атмосферного повітря та розвиток системи моніторингу у Донецькій області. *Екологія промислового регіону* : матеріали наук.-практ. конф. III екологічного Форуму. Слов'янськ : ФОП Бутко В.І., 2018. С. 5–8.

9. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (date of the application: 28.12.2022.).

10. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони: наказ МОЗУ № 1596 від 14.07.2020, із змінами № 881 від 06.05.2021 та № 1715 від 10.08.2021. Чинний з 03.08.2020.

11. Куценко С. А. Основы токсикологии. Санкт-Петербург: Фолиант, 2004. 395 с.

12. Bastviken D., Nygren J., Schenk J., Parellada Massana R., Duc N. T. Technical note: Facilitating the use of low-cost methane (CH₄) sensors in flux chambers - calibration, data processing, and an open-source make-it-yourself logger. *Biogeosciences*. 2020. Vol. 17. P. 3659–3667. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-17-3659-2020>.

13. Волков Г. К., Репин В. М., Большаков В. И. Зоогигиенические нормативы для животноводческих объектов : справочник. Москва: Агропромиздат, 1986. 303 с.

14. Скрипник М. М., Коваль В. О. (1989). Довідник по контрольно-вимірвальних приладах у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1989. 112 с.

15. Рожнов М. С. Державна повірочна схема засобів вимірювання вмісту компонентів у газових середовищах. *Метрологічне забезпечення виробництва послуг та інших робіт на підприємствах м. Києва. Тенденції розвитку та удосконалення* : тези доп. Київ, 2004. С. 14–16.

16. Іщенко В. А., Петрук В. Г. (2010). Високочутливі засоби контролю малих концентрацій газів : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 138 с.

17. HD32.3TC – HD32.3TCA – Thermal Microclimate PMV-PPD / WBGT. URL: <https://www.deltaohm.com/product/hd32-3tc-thermal-microclimate-pmv-ppd-wbgt/> (дата звернення 28.12.2022).

18. Мульти-газоаналізатор промислових викидів «SMG-GA01». URL: <https://prom.ua/ua/p1323393434-multi-gazoanalizator-promyshlennyh.html> (дата звернення: 28.12.2022.).
19. Переносний автоматичний багатоканальний моноблочний прилад циклічної дії фірми «Luma Sense Technologies A/S». URL: <https://innova.lumasenseinc.com/manuals/1412i/> (дата звернення: 28.12.2022.).
20. Небилиця М. С., Бойко О. В. Обґрунтувати використання розподіленої системи контролю повітряного середовища тваринницьких приміщень. *Ефективне кролівництво і звірівництво* : зб. наук. пр. Черкаської ДСБ НААН. Черкаси, 2019. № 5. С. 99–118. URL: 10.37617/2708-0617.2019.5.99-118
21. Сагло О.Ф., Фоломєєв В.З. (2005). Дослідження мікроклімату в приміщеннях для утримання свиней. *Сучасні методики досліджень у свинарстві*. Полтава: РВВ ПДАА, 2005. С. 200–204.
22. Волощук В. М., Небилиця М. С., Ващенко О. В., Мазанько О. М. Інноваційний спосіб моніторингу показників мікроклімату тваринницьких приміщень : метод. рек. / Черкас. досл. ст. біоресурсів НААН. Черкаси, 2016. 12 с.
23. Небилиця М. С., Бойко О. В., Онищенко Р. О. Розподілена система контролю мікроклімату тваринницьких приміщень. *Свинарство* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2019. Вип. 72. С. 36–46.
24. Бащенко М. І., Волощук В. М., Іванов В. О., Небилиця М. С., Бойко О. В., Сотніченко Ю. М., Ткач Є. Ф. Методика мультипараметричної оцінки мікроклімату тваринницьких приміщень методом безперервної автоматичної реєстрації / Черкас. досл. ст. біоресурсів НААН. Черкаси, 2021. 24 с.

REFERENCES

1. Svyinarski pidpriemstva (kompleksy, fermy, nevelyki silski hospodarstva) [Pig enterprises (complexes, farms, small farms)] : VNTP-APK 02.05. (2006). Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine [in Ukrainian].
2. Hodosovskiy, D. N. (2013). Formirovaniye mikroklimate v svinovodcheskikh zdaniyakh v razlichnyye sezony goda [Formation of the microclimate in pig-breeding buildings in different seasons of the year]. *Sovremennye problemi i tehnologicheskie innovatsii v proizvodstve svinini v stranah SNG*. Sbornik nauchnykh trudov XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Modern problems and technological innovations in pork production in the CIS countries. Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference. Cheboksary : KUP Chuvashskoy Respubliki «Agro-Innovatsii», 382–385 [in Russian].
3. Shevchenko, O. B. (2004). Osoblyvosti vzaiemozviazku pokaznykiv pryrodnoi rezystentnosti ta rostu svynei pry riznykh parametrah mikroklimate [Peculiarities of interrelationship of indications in natural resistance and growth of pigs with different microclimate parameters]. *Problemy zoonzhenerii ta veterinaryanoi medytyny* [Problems of animal engineering and veterinary medicine]. Kharkiv: RVV Kharkiv State Veterinary Academy, 12 (36), 1. 230–239 [in Ukrainian].
4. Khokhlov, A. M., Pron, E. V., & Danilova, T. N. (2009). Trebovaniya zoogigiyeny k svinovodcheskim pomeshcheniyam [Zoohygiene requirements for pig-breeding premises.]. *Problemy zhivotnovodstva* [Livestock problems]. Belgorod: Belgorodskaya GSHA, 184–186 [in Russian].
5. Chernyy, N. V. (1995). *Mikroklimate v sovremennykh zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh* [Microclimate in modern livestock buildings]. Kharkov [in Russian].
6. Nebylytsia, M. S. (2011). Dobovi zminy osnovnykh parametriv mikroklimate u rekonstruiovanomu prymishchenni dlia svynei u vesniano-litnii period roku [Daily

changes of the main parameters of the microclimate in the reconstructed room for pigs in the spring and summer period of the year]. *Visnyk Cherkaskoho instytutu ahropromyslovoho vyrobnytstva* [Bulletin of the Cherkasy Institute of Agro-Industrial Production]. Cherkasy, 11, 161–168 [in Ukrainian].

7. Nebylitsa, N. S. (2015). Monitoring pokazately temperatury vozdukhа svinovodcheskikh pomeshcheniy v zharu [Monitoring of indicators of air temperature in pig-breeding premises in the heat]. *Nauchnyy faktor v strategii innovatsionnogo razvitiya svinovodstva. Materialy XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific factor in the strategy of innovative development of pig breeding. Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference]. Grodno: GGAU. 363–366 [in Russian].

8. Natrus, S. P., & Stryhina, M. V. (2018). Zabrudnennia atmosfernoho povitria ta rozvytok systemy monitorynhu u Donetskii oblasti [Atmospheric air pollution and development of the monitoring systems in the Donetsk region]. *Ekolohiia promyslovoho rehionu: materialy naukovo-praktychnoi konferentsii III ekolohichnoho Forumu* [Ecology of the industrial region. Proceedings scientific and practical materials. conf. III Ecological Forum]. Sloviansk: FOP Butko V.I., 5–8 [in Ukrainian].

9. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Retrived from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (date of the application: 28.12.2022.).

10. Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn u povitri robochoi zony [On the approval of hygienic regulations on the permissible content of chemical and biological substances in the air of the working area]: Order of the Ministry of Health of Ukraine. 2020. № 1596 iz zminamy № 881 ta № 1715 (2021). [in Ukrainian].

11. Kutsenko, S. A. (2004). *Osnovy toksikologii* [Fundamentals of toxicology]. Saint Petersburg : Foliant [in Russian].

12. Bastviken, D., Nygren, J., Schenk, J., Parellada Massana, R., & Duc, N. T. (2020). Technical note: Facilitating the use of low-cost methane (CH₄) sensors in flux chambers – calibration, data processing, and an open-source make-it-yourself logger. *Biogeosciences*, 17, 3659–3667. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-17-3659-2020>.

13. Volkov, G. K., Repin, V. M., & Bolshakov, V. I. (1986). *Zoogigienicheskie normativy dlya zhyvotnovotcheskikh ob'yektov* [Zoohygienic standards for livestock facilities]. Moscow : Agropromizdat [in Russian].

14. Skrypnyk, M. M., & Koval, V. O. (1989). *Dovidnyk po kontrolno-vymiriuvalnykh pryladakh u silskomu hospodarstvi* [Handbook on control and measuring devices in agriculture]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].

15. Rozhnov, M. S. (2004). Derzhavna povirochna skhema zasobiv vymiriuvannia vmistu komponentiv u hazovykh seredovyshchakh [State verification scheme for measuring the content of components in gaseous media]. *Tezy dopovidi na seminari «Metrolohichne zabezpechennia vyrobnytstva posluh ta inshykh robit na pidpriemstvakh m. Kyieva. Tendentsii rozvytku ta udoskonalennia* [Metrological support for the production of services and other works at enterprises in Kyiv. Trends of development and improvement: Abstracts of Papers]. Kyiv, 14–16 [in Ukrainian].

16. Ishchenko V. A., & Petruk V. H. (2010). *Vysokochutlyvi zasoby kontroliu malykh kontsentratsii haziv: monohrafiia* [Highly sensitive means of controlling small concentrations of gases: monograph]. Vinnytsia: VNTU, 2010. 138 s. [in Ukrainian].

17. HD32.3TC – HD32.3TCA – Thermal Microclimate PMV-PPD / WBGT. Retrived from <https://www.deltaohm.com/product/hd32-3tc-thermal-microclimate-pmv-ppd-wbgt/> (date of access: 28.12.2022).

18. Multy-hazoanalizator promyslovykh vykydiv «SMG-GA01» [Multi-gas analyzer of industrial emissions "SMG-GA01"]. [elektronnyi resurs]. Retrieved from <https://prom.ua/ua/p1323393434-multi-gazoanalizator-promyshlennyh.html> [in Ukrainian].

19. Perenosnyi avtomatychnyi bahatokanalnyi monoblochnyi prylad tsyklichnoi dii firmy «Luma Sense Technologies A/S» [Portable automatic multi-channel monoblock device of cyclic action of the company "Luma Sense Technologies A/S"]. [elektronnyi resurs]. Retrieved from <https://innova.lumasenseinc.com/manuals/1412i/> [in Ukrainian].

20. Nebylytsia, M. S., & Boiko, O. V. (2019). Obhruntuvaty vykorystannia rozpodilenoj systemy kontroliu povitrianoho seredovyshcha tvarynnytskykh prymishchen [Submit the use of a distributed aircraft control system for animal houses] *Efektivne krolivnytstvo i zvirivnytstvo* [Effective rabbit breeding and animal husbandry]. Cherkasy: Cherkasy Research Station of Bioresources of the National Academy of Sciences, 5, 99–118. doi: <https://doi.org/10.37617/2708-0617.2019.5.99-118> [in Ukrainian].

21. Sahlo, O. F., & Folomieiev, V. Z. (2005). Doslidzhennia mikroklimatu v prymishchenniakh dla utrymannia svynei [Study of the microclimate in premises for keeping pigs]. In *Suchasni metodyky doslidzen u svynarstvi*. Poltava: RVV PDAA, 200–204 [in Ukrainian].

22. Voloshchuk, V. M., Nebylytsia, M. S., Vashchenko, O. V., & Mazanko, O. M. (2016). *Innovatsiyni sposib monitorynhu pokaznykiv mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen* [An innovative method of monitoring indicators of the microclimate of livestock premises]. Cherkasy: Cherkaska doslidna stantsiia bioresursiv NAAN [in Ukrainian].

23. Nebylytsia, M. S., Boiko, O. V., & Onyshchenko, R. O. (2019). Rozpodilena systema kontroliu mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen [Distributed microclimate control system of livestock premises.]. *Svynarstvo* [Pig breeding]. Poltava, 72, 36–46 [in Ukrainian].

24. Bashchenko, M. I., Voloshchuk, V. M., Ivanov, V. O., Nebylytsia, M. S., Boyko, O.V., Sotnichenko, Y. M., & Tkach, E. F. (2021). *Metodyka multyparmetrychnoi otsinky mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen metodom bezpererвної avtomatychnoi reiestratsii* [The method of multiparametric assessment of the microclimate of livestock premises by the method of continuous automatic registration]. Cherkasy: Cherkaska doslidna stantsiia bioresursiv NAAN [in Ukrainian].

MULTIPARAMETRIC ASSESSMENT OF THE MICROCLIMATE OF LIVESTOCK PREMISES BY THE METHOD OF CONTINUOUS AUTOMATIC REGISTRATION

M. S. Nebylytsia, O. V. Boiko

*Cherkasy Research Station of Bioresources NAAS
Pasterivska Str., 76, Cherkasy, Ukraine 18036*

Introduction. *The relevance of work is due to the need for constructive transformation of the AAEE-7 multi-block measuring system into a mono-block one. This is required for microclimate research in livestock premises, according to the methodological provisions. The work on the development of a laboratory sample of a mono-block analyzer is being carried out in Ukraine for the first time. The purpose of*

the research was to implement a method of continuous automatic recording of measurements of the microclimate of livestock premises. In addition, it was supposed to reduce the cost and reduce the number of technical means of measurement. It was also supposed to simplify the process of setting up measurements to increase the productivity of scientists and technologists. **Research methods.** Analytical, mathematical, physical, economic research methods are applied. In addition, the methods of designing and programming electronic devices are applied. On the basis of previous developments and materials of scientific works of periodical publications, the advantages of the measuring system "Analyzer of air environment electronic mono-block" (AAEE-M) are substantiated. A laboratory sample of the device with software was made (developer Cherkasy Research Station of Bioresources NAAS). The algorithm of the multi-parameter method of continuous automatic registration and assessment of the microclimate of premises using AAEE-M has been developed. **Research results.** It was determined that the devices of the main Ukrainian manufacturers PJSC "Ukranalit" and LLC "Complex Automated Systems" and foreign companies "Delta Ohm" and "Luma Sense Technologies A/S" do not fully meet the requirements of microclimate monitoring, according to the existing methodology. The main innovative advantage of AAEE-M is the possibility of automatic registration of daily fluctuations of at least ten parameters of the microclimate, with a time interval of 6 minutes. This applies, in particular, to small particles of suspended dust of PM_1 , $PM_{2.5}$ and PM_{10} fractions and low volumetric concentrations of polluting gases CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 . The technical advantage of the measuring system is based on the fact that it is characterized by a 30 % lower mass compared to the Ecolab prototype. In addition, it has 9 times longer battery life, wireless communication, and the possibility of remote transmission of measurement results. **Conclusions.** For the operation of the AAEE-M measuring system, a methodology for assessing microclimate parameters using the method of continuous automatic registration has been developed. The economic advantage of AAEE-M is that it is 4.4 times cheaper compared to the prototype. Also, it is cheaper by 22.9 %, compared to the previous multi-block modification of the measuring system.

Key words: measuring system, parametric, evaluation, microclimate, livestock premises, method of determination.