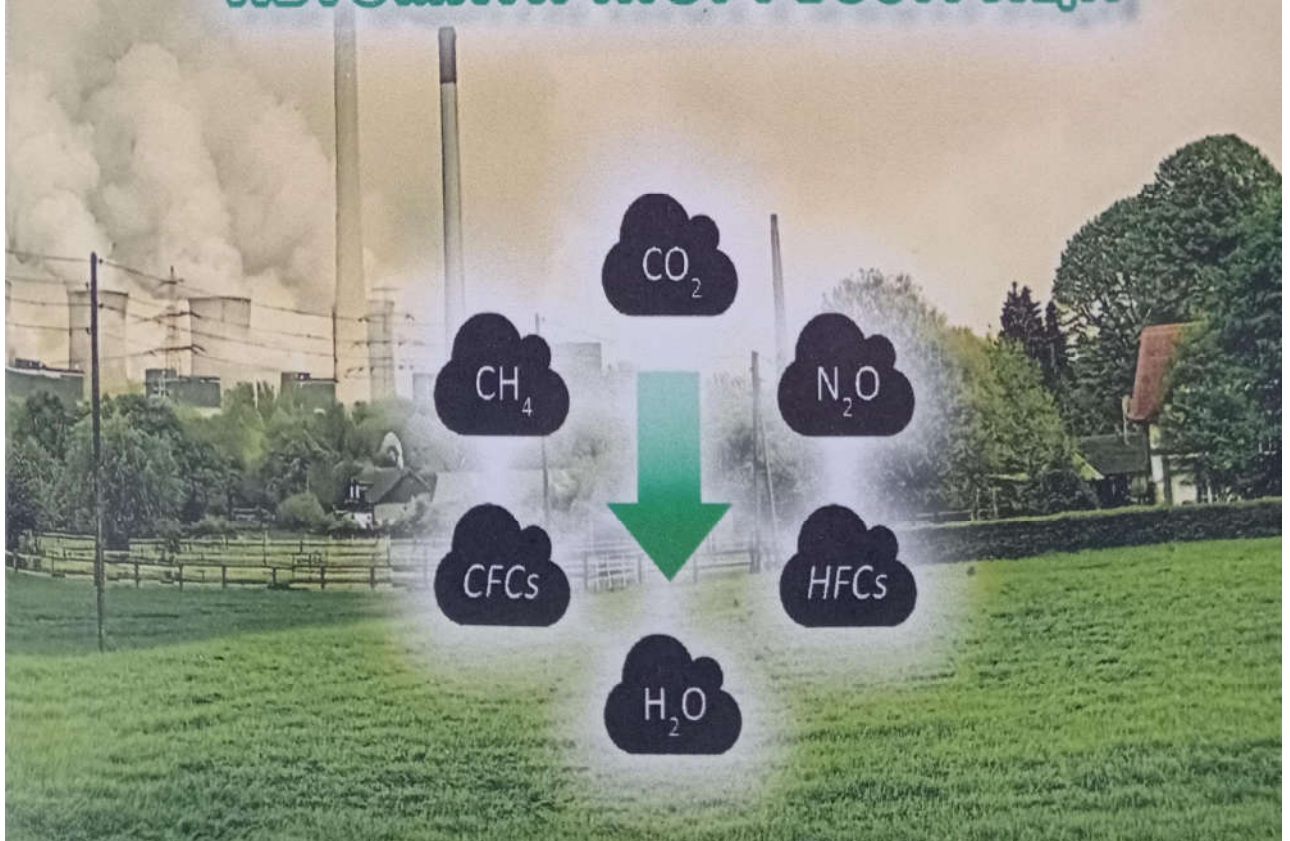


Олександр Бойко, Микола Небилиця,
Олександр Демиденко, Олександр Гавриш,
Олексій Гончар, Тетяна Осокіна

МЕТОДИКА
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕМІСІЇ
ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА ДЕЯКИХ
ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН
ВІД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
ОБ'ЄКТІВ І АГРОЛАНДШАФТІВ
МЕТОДОМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ
АВТОМАТИЧНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ



**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКА ДОСЛІДНА СТАНЦІЯ БІОРЕСУРСІВ
ЧЕРКАСЬКА ДЕРЖАВНА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ДОСЛІДНА
СТАНЦІЯ НАЦІОНАЛЬНОГО НАУКОВОГО ЦЕНТРУ «ІНСТИТУТ
ЗЕМЛЕРОБСТВА»**

**Олександр БОЙКО, Микола НЕБИЛИЦЯ, Олександр ДЕМИДЕНКО,
Олександр ГАВРИШ, Олексій ГОНЧАР, Тетяна ОСОКІНА**

**МЕТОДИКА
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ
ГАЗІВ ТА ДЕЯКИХ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ВІД
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ І АГРОЛАНДШАФТІВ
МЕТОДОМ БЕЗПЕРЕРВНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ
(методичні рекомендації)**



Чорнобай - 2024

Методика визначення показників емісії парникових газів та деяких забруднювальних речовин від сільськогосподарських об'єктів і агроландшафтів методом безперервної автоматичної реєстрації. Методичні рекомендації. Черкаси: Черкаська ДСБ НААН. *За редакцією Чорнобаївського комунального поліграфічного підприємства* – 2024.– 44 с.

В рекомендаціях наведено методику визначення питомих викидів парникових газів та забруднювальних речовин від тваринницьких приміщень і тваринницьких відходів (гною) та парникових газів з агроландшафтів методом безперервної автоматичної реєстрації спеціалізованим приладом «Аналізатор повітряного середовища електронний моно-блоковий».

В основу рекомендацій покладено методологічні підходи літературних джерел та власні напрацювання. Методичні рекомендації розроблено Черкаською дослідною станцією біоресурсів НААН і Черкаською ДСГДС ННЦ «ІЗ НААНУ» в межах виконання науково-технічної програми «Екологічно безпечні технології у тваринництві» за завданням 29.02.01.08 «Визначення показників емісії забруднюючих речовин в атмосферне повітря від невеликих об'єктів тваринництва Черкаської області» (2021–2023 рр.) (№ДР 0121U108732; керівник НДР – к. с.- г. н., М.С. Небилиця).

Розраховані на науковців, викладачів, аспірантів, студентів екологічного, зоотехнічного і агрономічного профілю, екологів, ветеринарних фахівців, а також працівників сільськогосподарських підприємств та фермерів.

Авторський колектив: Олександр БОЙКО, Микола НЕБИЛИЦЯ, Олександр ДЕМИДЕНКО, Олександр ГАВРИШ, Олексій ГОНЧАР, Тетяна ОСОКІНА

Рецензенти: Віталій ЛАВРОВ – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології, природничих та математичних наук Комунального закладу вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти».

Станіслав ДЕГОДЮК - доктор сільськогосподарських наук, с.н.с., член-кореспондент НААН, завідувач відділу агрохімії Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН».

Олександр СПРЯГАЙЛО – кандидат біологічних наук, доцент, проректор з наукової та інноваційної діяльності Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького.

Ганна ДАВИДЮК – кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с., завідувач відділу агроекології і аналітичних досліджень Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН».

Рекомендації розглянуті, схвалені та рекомендовані до публікації Вченою радою Черкаської дослідної станції біоресурсів НААН (протокол № 5 від 19 червня 2024 року) і Вченою радою Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН» (протокол № 9 від 27 червня 2024 року).

© О.В. Бойко, М.С. Небилиця, О.В. Демиденко, О.М. Гавриш, О.Ф. Гончар, Т.Г. Осокіна

© Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН

© Черкаська ДСГДС ННЦ «ІЗ НААН»

Зміст

Використані визначення та скорочення	4
Вступ	6
1. Дослідження емісії ЗР і ПГ з тваринницьких приміщень та ПГ з агроландшафтів спеціалізованими приладами ВОК АПСЕ-М і АПСЕ-ММ	9
1.1 Технічна характеристика вимірювальних пристроїв	9
1.2 Підготовка вимірювальних приладів до роботи	10
2. Методика постановки дослідів з визначення емісії ЗР від тваринницьких приміщень приладом АПСЕ-М	11
2.1 Загальні вимоги до проведення досліджень	12
2.2 Методика проведення досліджень	13
2.3 Перевірка вимірювань	15
3. Вихідні матеріали для формування електронної бази даних та обробки і аналізу добових показників емісії ЗР у тваринництві	16
4. Корпусна (камерна) методика постановки дослідів з визначення емісії ЗР від тваринницьких відходів (гною) приладом АПСЕ-ММ	23
5. Методика проведення досліджень з визначення емісії ПГ у землеробстві приладом АПСЕ-ММ	25
5.1 Постановка дослідів з визначення емісії ПГ в агроландшафтах	25
5.2 Загальні цілі та вимоги до проведення досліджень	25
5.3 Метод камер	26
6. Вихідні та кінцеві матеріали для формування електронної бази даних та обробки і аналізу показників емісії ПГ у землеробстві	29
6.1 Приклад визначення статистичних параметрів концентрації CO ₂ та CH ₄ в приземному шарі повітря за різних способів обробітку та утримання чорнозему в агроценозі	29
Додатки	39
Список використаних джерел	41

Використані визначення та скорочення

Забруднення атмосферного повітря – це зміна складу і властивостей атмосферного повітря в результаті надходження або утворення в ньому фізичних, біологічних факторів і (або) хімічних сполук, що можуть несприятливо впливати на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища;

забруднювальна речовина (ЗР) - речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в атмосферне повітря і може прямо або опосередковано справляти негативний вплив на здоров'я людини і стан навколишнього природного середовища;

викид - надходження в атмосферне повітря забруднювальних речовин або суміші таких речовин;

джерело викиду - об'єкт з якого надходить в атмосферне повітря забруднювальна речовина або суміш таких речовин (тваринницьке підприємство, приміщення, цех, бокс, інший нерухомий об'єкт чи агроландшафт);

стаціонарне джерело забруднення атмосфери – підприємство, цех, агрегат, установка або інший нерухомий об'єкт, що зберігає свої просторові координати протягом певного часу і здійснює викиди забруднювальних речовин в атмосферу (тваринницьке підприємство, приміщення, цех, бокс, інший нерухомий об'єкт чи агроландшафт);

організований викид - викид, який надходить в атмосферу через спеціально споруджені вентиляційні шахти, труби та інше обладнання;

неорганізований викид - викид, який надходить в атмосферне повітря у вигляді ненаправлених потоків газопилової суміші від джерел забруднення не оснащених спеціальними спорудами для відведення газів вентиляційними шахтами, трубами та іншими спорудами;

газохід - складова технологічної або вентиляційної системи для транспортування газового потоку, виготовлена з різного матеріалу і різної форми поперечного перерізу (повітропровід, вентиляційний канал, вентиляційна шахта чи труба);

дифузні джерела - малі або розсіяні джерела викидів, у тому числі пересувні джерела, з яких може здійснюватися викид забруднювачів в атмосферне повітря, воду або землю, які сукупно мають суттєвий вплив на довкілля та для яких недоцільно складати та подавати звітність щодо джерела;

показник емісії (питомий викид)- величина, яка встановлює залежність між кількістю забруднювальної речовини (або їх суміші), що

викидається в атмосферне повітря та діяльністю, пов'язаною з цим викидом;

масова витрата забруднювальної речовини (потужність викиду) - кількість речовини, що викидається в атмосферне повітря за одиницю часу ($\text{г} \cdot \text{с}^{-1}$, $\text{кг} \cdot \text{год}^{-1}$, $\text{т} \cdot \text{рік}^{-1}$);

масова концентрація забруднювальної речовини - відношення маси забруднювальної речовини до об'єму аспірованого при відборі проби газу, $\text{мг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$;

концентрація забруднювальної речовини - кількість забруднювальної речовини, що міститься в одиниці об'єму газу, що надходить в атмосферне повітря, $\text{мг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$;

об'ємна витрата газопилового потоку - відношення об'єму газопилового потоку до одиниці часу, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [1-6].

ЗР	- забруднювальні речовини
ПГ	- парникові гази
CO_2	- вуглекислий газ
NH_3	- аміак
CH_4	- метан
N_2O	- закис азоту
PM_{1-10}	- пил фракцій від 10 нм до 1,0 та 2,5 мкм
ГДК	- гранично допустима концентрація
ppm	- мільйонна частка, пропромільле
100 кг ж. м.	- сто кілограм живої маси
$\text{г} \cdot \text{с}^{-1}$	- грам у секунду
млн кл $\cdot \text{с}^{-1}$	- мільйон клітин у секунду
м^3	- метр кубічний
мкг	- мікрограм
M	- середня арифметична величина
m	- похибка середньої арифметичної
Cv	- коефіцієнт варіації
p	- рівень ймовірності
r	- коефіцієнт кореляції
R	- коефіцієнт регресії
η^2	- сила впливу

Вступ

За об'ємом викидів парникових газів сільське господарство, хоч і поступається енергетиці та промисловості, але все ж є потужним їх джерелом як в Україні, так і в глобальних масштабах [1]. Основною причиною утворення та надходження в атмосферу аміаку та парникових газів від галузі тваринництва є те, що весь технологічний процес виробництва продукції тваринництва супроводжується використанням і утворенням органічної речовини, під час розкладання якої, як в аеробних, так і в анаеробних умовах, відбувається утворення й емісія парникових газів [2, 3]. Це призводить до зміни клімату, адже тваринництво і рослинництво пов'язані з викидами вуглекислого газу, метану і оксиду азоту.

Так, сумарні викиди парникових газів у секторі «Сільське господарство» в Україні у 2020 р. склали 44,2 млн т CO₂-екв., що на 7,7% більше, ніж у 2015 р. Така динаміка пояснюється зростанням площ, зайнятих під рілля в Україні (якщо прийняти за 100% всі викиди парникових газів, то 47% їх формується через високий показник розораності земель у світі) та збільшенням обсягів внесення мінеральних і органічних добрив (синтетичні добрива, як і гній, є головним чинником підвищення в атмосфері рівня одного з парникових газів – закису азоту).

На міжнародному рівні прийнято низку документів з протидії зміні клімату й мінімізації наслідків глобального потепління. Україна також, на високому рівні, підтримує та ратифікує міжнародні угоди з цих питань. *Довідка.* Так, відповідно до Паризької угоди, яку Україна підписала та ратифікувала у 2016 р., кожна країна-учасниця надає свій внесок до скорочення викидів парникових газів (ПГ) та переглядає його раз на 5 років. Згідно Другого національно визначеного внеску України до Паризької угоди (НВВ2) Україна зобов'язується скоротити викиди ПГ на 65% у 2030 р. від рівня 1990 р., зокрема у секторі «Сільське господарство» у 2030 р. на 14% відносно 2018 р. та на 56 % від рівня 1990 року. З метою зменшення викидів ПГ, зокрема у секторі сільського господарства, проектом НВВ2 передбачено впровадження технологій для забезпечення мінімального або нульового обробітку ґрунту, перехід на якісніші добрива, збільшення частки земель органічного виробництва до 3 %, використання біогазу.

У 2020 р. Україна підтримала Європейський Зелений Курс (European Green Deal) (далі – ЄЗК), метою якого є досягнення

кліматичної нейтральності європейського континенту до 2050 року. Україна заявила, що є невід'ємною частиною реалізації цілей ЄЗК. У прийнятій у 2020 р. стратегії ЄС «Від ферми до виделки», що є частиною ЄЗК у сфері сільського господарства, передбачено перехід до стійких систем виробництва та споживання – забезпечення здорового харчування, припинення руйнівних для довкілля методів сільського господарства та сприяння розвитку сільських територій. Частина вимог стратегії «Від ферми до виделки» вже впроваджується в агросекторі України, проте вони потребують використання нових технологій, практик тощо.

Огляд літературних джерел свідчить про те, що існує дуже багато різних методик визначення шкідливих речовин у повітряному середовищі та викидах (більше 200), класифікувати їх важко, бо вони можуть одночасно відповідати різним вимогам класифікації. Проте, існує чотири основних методи визначення шкідливих речовин у повітрі:

- **візуальний або органолептичний** (попередній і приблизний),
- **лабораторний** (найточніший, проте вимагає значного часу для проведення хімічного аналізу),
- **експрес-метод** (менш точний, але забезпечує проведення аналізу впродовж декількох хвилин),
- **метод безперервної автоматичної реєстрації** (найбільш перспективний, дозволяє в будь-який момент досить швидко одержати необхідні дані про загазованість повітря, але потребує відносно складної, достатньо дорогої електронної апаратури та газовимірювальних приладів для проведення аналізу) [7].

Науковими співробітниками Черкаської ДСБ НААН розроблено та виготовлено ФОП «Онищенко Р.О.» лабораторні зразки спеціалізованих приладів, зокрема: вимірювально-обчислювальний комплекс (ВОК) «Аналізатор повітряного середовища електронний моно-блоковий» (АПСЕ-М) та «Аналізатор повітряного середовища електронний моно-блоковий модифікований» (АПСЕ-ММ). Перший засіб призначений для мультипараметричної оцінки мікроклімату тваринницьких приміщень і вимірювання показників емісії низки забруднювальних газів CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 та дрібнодисперсного пилу PM_{1-10} методом безперервної автоматичної реєстрації [8-11]. Другий засіб призначений для вимірювання показників емісії ПГ від тваринницьких відходів (гною) і від агроландшафтів та температури, вологості і НРК ґрунту (рис.1).



а)



б)

Рис. 1 - Загальний вигляд ВОК АПСЕ-М (а) та АПСЕ-ММ (б)

Класифікаційна характеристика приладів: клас виконання – наземні; група використання – переносні; кліматичне виконання У – для районів з помірним кліматом; режим роботи – автоматичний. Їх функціональні можливості - призначені для проведення експрес-вимірювань і добового моніторингу параметрів мікроклімату та емісії забруднювальних газів, зокрема ПГ, в автоматизованому режимі роботи і збереження даних вимірювань в пам'ять у форматі Excel. Вони мають вагу 5,0 кг (ВОК АПСЕ-М) та 1,3 кг (АПСЕ-ММ); живлення здійснюється від напруги 5 В, похибка вимірювань не більше $\pm 15\%$.

За даними Bellarby et al., 2008 сільськогосподарське виробництво спричиняє від 10 до 12% світових загальних викидів парникових газів, однак вони можуть сягати 32%, якщо включити всі джерела викидів,

пов'язаних із сільським господарством [12]. Сільськогосподарські викиди парникових газів можна розділити на три основні групи:

- викиди CO_2 та CH_4 від дихання і кишкової ферментації тварин;
- викиди CO_2 , CH_4 та N_2O внаслідок накопичення, видалення, зберігання та внесення гною в ґрунт;
- викиди N_2O від сільськогосподарських культур полів, включаючи прямі викиди з посівних угідь і пасовищ і непрямі викиди в результаті використання азотних добрив у сільському господарстві.

Зазначається, що поводження з гноєм спричиняє до 13% викидів парникових газів у сільськогосподарському секторі, причому на CH_4 та N_2O припадає 33% та 67% CO_2 -екв відповідно [13]. Сучасні тенденції свідчать про те, що цей рівень суттєво зросте впродовж наступних десятиліть, оскільки інтенсифікація тваринницької діяльності продовжується. З іншого боку, CH_4 і N_2O мають потенціал глобального потепління в 21 і 310 разів більше, ніж CO_2 за сто років відповідно, виходячи з їх здатності сприяти зміні клімату [14].

Отже, вплив тваринництва й посівних угідь і пасовищ на навколишнє середовище не можна вважати незначним. Наразі багато країн змушені використовувати міжнародно-узгоджені значення для оцінки своїх викидів ПГ.

Ці рекомендації описують методи визначення емісії ПГ і деяких ЗР та алгоритм визначення коефіцієнтів викидів від галузей тваринництва і землеробства спеціалізованими приладами ВОК АПСЕ-М та АПСЕ-ММ.

1. Дослідження емісії ЗР і ПГ з тваринницьких приміщень та ПГ з агроландшафтів спеціалізованими приладами ВОК АПСЕ-М і АПСЕ-ММ

Експериментальні дослідження проводять безпосередньо в тваринницьких приміщеннях, де утримуються тварини, і зовні будівель поблизу повітрязабірних каналів чи в місцях накопичення і зберігання гною та на визначених точках агроландшафтів.

1.1 Технічна характеристика вимірювальних пристроїв

Прилади призначені для безперервної реєстрації в часі змін показників мікроклімату: освітленості, температури, відносної вологості, атмосферного та шумового тиску і викидів низки забруднювальних газів CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 й дрібнодисперсного пилу в атмосферне повітря від тваринницьких приміщень та емісії ПГ від

агроландшафтів. Спеціалізований прилад ВОК АПСЕ-М складається з чотирьох, а прилад АПСЕ-ММ - з одного вимірювального моноблока.

Час оновлення даних: виконується одне вимірювання через кожні 3с, з наступним усередненням сорока проведених вимірювань впродовж 2 хв. та записом у внутрішню пам'ять мікропроцесора і в карту пам'яті [16].

1.2 Підготовка вимірювальних приладів до роботи

Насамперед перевіряють відсутність механічних пошкоджень і комплектність вимірювальних приладів. Перемикачі та органи керування повинні бути надійно закріплені на корпусах. Потім перевіряють заряд акумуляторних батарей моноблоків натисканням перемикачів живлення в положення «Вкл». Після процесу тестування вимірювальних пристроїв, щодо готовності кожного до роботи в автоматичному режимі, на дисплеї відображається інформація щодо: назви, моделі, дати, часу і рівня заряду батарей. Якщо при включенні будь-якого пристрою індикатор стану зарядження акумуляторних батарей показує їх низький заряд (менше 3,4-3,5 В), необхідно вимкнути прилад і здійснити його зарядження.

Контроль за роботою вимірювальних пристроїв: візуальний – за допомогою дисплею індикації моноблоків. Основний режим роботи АПСЕ-М та АПСЕ-ММ - режим вимірювань. У цьому режимі на дисплеї відображаються результати вимірювань за всіма вимірювальними каналами аналізатора, а також поточні дата і час та показник зарядження батарей. Основна частина екрану рядками розділена на прямокутні вікна. В кожному вікні наведено позначення вимірювального каналу, одиниця вимірювання і виміряне значення визначуваного компонента. Вимірювальний прилад видає наступні сигнали, після вмикання:

а) при включенні кожного вимірювального моноблоку – засвічується рідкокристалічний дисплей індикатора інформації та почергове відображення наступних символів та інформації: АПСЕ-М чи АПСЕ-ММ, «№ і рік версії ПЗ», «дані вимірювань датчиків, поточну дату і час, показник заряду акумуляторних батарей», які свідчать про нормальне функціонування приладу (рис. 2);

б) аналіз даних вимірювань здійснюється в автоматичному режимі на основі програмного забезпечення мікропроцесора та нормативів і гранично допустимих концентрацій (ГДКсд.) параметрів повітря (для відповідної галузі тваринництва чи рослинництва).



Рис. 2 – Загальний вигляд відображення інформації на дисплеях спеціалізованого приладу ВОК АПСЕ-М

Ця процедура здійснюється шляхом змінювання кольору цифрового відображення показника на кольоровому дисплеї, зокрема: зеленим (показник знаходиться в межах нормативного значення), жовтим (менше мінімального нормативного значення), червоним (більше максимального нормативного значення або перевищує ГДКсд. - для шкідливих газів).

2. Методика постановки дослідів з визначення емісії ЗР від тваринницьких приміщень вимірювальним приладом АПСЕ-М

Обстеження об'єктів (адаптовано за [15]). Для досліджуваних об'єктів необхідно реєструвати місце знаходження будівлі або комплексу (адреса), вид і породу тварин чи птиці, напрям виробництва тваринницької продукції та її річний об'єм.

1. Складається ескіз обстежуваної будівлі (план, розріз) з характеристикою конструктивних та планувальних рішень.

2. Характеризується стан огорожувальних конструкцій будівлі: матеріал стін та їхня товщина, перекриття (суміщене не вентилязоване, суміщене вентилязоване, горищне). Конструкцію перекриття

характеризують пошарово та роздільно визначають стан утеплення і стан покрівлі.

3. При описі планових рішень будівель вказують тип і конструкцію станків, ширину кормових та гнойових проходів.

4. Характеризують інженерне устаткування будівлі - вентиляцію, опалювання, каналізацію за типологічними схемами та зазначають його робочий стан на період досліджень.

5. Визначають освітленість будівель, матеріал вікон, загальну площу скління і площу підлоги (площа забудови) для визначення світлового коефіцієнту (відношення площі підлоги до фактичної застеленої площі). Визначається природна освітленість будівель.

6. Описується тип та система годівлі, а також конструкція і стан годівниць та водопостачання будівлі.

7. На основі проведеного аналізу типового проекту будівлі характеризуються основні відхилення допущені при будівництві чи реконструкції та експлуатації технічних засобів тваринницького приміщення на період обстеження.

2.1 Загальні вимоги до проведення досліджень

1. Організація і проведення дослідів за даною методикою може мати кілька напрямків і підходів залежно від основної задачі, яка вимагає комплексного дослідження факторів або деяких із них. Дослідженню при цьому підлягає те чи інше виробниче тваринницьке приміщення загалом, його частина або окремий блок (сектор) при ізольованому вирішенні останнього.

2. Оцінку викидів з приміщень проводять методом груп будівель із урахуванням їх строку експлуатації або методом періодів.

3. Для контролю викидів ЗР від тварин пов'язаних з тими чи іншими пара-типовими факторами, підбирають клінічно здорових тварин з їх обов'язковою дегельмінтизацією перед постановкою на дослід. Комплектування вікових і виробничих груп повинно проводитися згідно із загальноприйнятими в зоотехнії методами постановки науково-господарських дослідів.

4. Тривалість дослідів регламентується за сезонним принципом або за періодом технологічного циклу. Через часову та просторову мінливість викидів із тваринницьких приміщень вимірювання необхідно проводити впродовж більш тривалих періодів часу, які охоплюють як добові, так і сезонні коливання викидів, щоб точно відобразити річні викиди.

2.2 Методика проведення досліджень

Спосіб №1. Визначення величини питомих викидів з тваринницьких приміщень обладнаних механічною системою вентиляювання (від організованих джерел) проводять за результатами вимірів об'ємної витрати газоповітряної суміші та масової концентрації ЗР, які поступають в атмосферу з газами, що відходять. Оцінка показників емісії ЗР вимагає вимірювання їхньої концентрації на вході та виході з тваринницького приміщення. Рекомендується відбирати зразки повітря безперервно на вхідних і випускних вентиляційних отворах, якщо їх розташування фіксовано протягом періоду досліджень, і якщо вони є легко доступними та працюють у визначеному режимі. При цьому, площа робочої зони тваринницького приміщення приблизно ділиться на три рівних частини. Вимірювальні моноблоки 1, 2, 3 розташовують в трьох точках умовно поділеного приміщення безпосередньо під витяжними шахтами.

Для дослідження метричних характеристик вентиляційних каналів застосовують мірну рулетку. На основі одержаних даних визначають площу перерізу вентиляційних каналів. Для визначення швидкості руху газоповітряної суміші у вентиляційних каналах застосовують крильчаті анемометри або анемометри з гарячим дротом. Рівень вентиляції (VR) розраховується за формулою [17]:

$$VR = s A, \quad (1)$$

де s = середня швидкість газоповітряної суміші ($\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$)

A = площа поперечного перерізу вентиляційного каналу або потоку повітря (м^2).

Загальний рівень вентиляції розраховують за кожною із трьох точок умовно поділеного приміщення, шляхом множення на кількість працюючих вентиляційних витяжних каналів, з наступним додаванням одержаних показників.

Спосіб №2. У приміщеннях з механічною вентиляцією можна здійснювати моніторинг різниці статичного тиску та робочого стану (увімкнено-вимкнено) кожного вентилятора для оцінки рівня вентиляції на основі його технічних або вимірних характеристик продуктивності. Для цього, спочатку визначається продуктивність кожного вентилятора на місці, а загальний рівень вентиляції приміщення оцінюють шляхом додавання всіх робочих характеристик продуктивності вентиляторів за необхідний проміжок часу.

Безперервний відбір проб повітря в приміщенні проводять приладами АПСЕ-М під витяжними вентиляторами, за допомогою штангових штативів (рис. 3, 4), а ззовні - в метеорологічній будці на висоті 1,5-1,8 м від поверхні землі на відстані приблизно 1м від повітрязабірного каналу (рис. 5).



Рис. 3



Рис. 4



Рис.5

Рис. 3 – спосіб безперервного відбору проб повітря в крільчатнику приладом АПСЕ-М біля витяжного стінового вентилятора за допомогою штангового штатива

Рис. 4 - спосіб безперервного відбору проб повітря в свинарнику приладом АПСЕ-М під витяжним даховим вентилятором за допомогою штангового штатива

Рис. 5 - спосіб безперервного відбору проб повітря зовні тваринницького приміщення приладом АПСЕ-М за допомогою метеорологічної будки

Викиди забруднювальних газів (**E**), виражені у $\text{мг} \cdot \text{год}^{-1}$, розраховують на погодинній основі згідно з Philippe F.X. et. al. [18] за такою формулою:

$$E = D \cdot (C_{in} - C_{out}), \quad (2)$$

де: **D**- погодинна масова витрата повітря ($\text{кг} \cdot \text{год}^{-1}$);

C_{in} і **C_{out}**- концентрація забруднювального газу в приміщенні та ззовні відповідно ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ повітря).

Погодинні викиди забруднювального газу перераховують у добові коефіцієнти викидів у $\text{г} \cdot \text{тварину(и)}^{-1}$ (умовну тварину живою вагою 100 кг).

У дослідженнях масову концентрацію ЗР потрібно вимірювати спеціалізованими приладами цілодобово (впродовж не менше 5-7

суміжних діб місяця, який характеризує середні значення температури зовнішнього повітря за кожну пору року).

У тваринницьких приміщеннях [19-20] визначають основні забруднювальні речовини: CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 та дрібнодисперсний пил PM_{1-10} , які становлять понад 99,85% від загальної кількості речовин. Кількісні значення решти забруднювальних речовин (0,15%) визначають за допомогою методу екстраполяції середнього рівня ряду (простий).

Впродовж виробничого періоду показники емісії ЗР з тваринницького приміщення можуть суттєво змінюватися впродовж добового періоду (24-годин) та впродовж більших інтервалів часу. Ця мінливість зумовлена факторами, що впливають на просторову мінливість пов'язану зі зміною поведінки і рухової активності тварин, системи і кратності видалення гною тощо. Наприклад, молодняк свиней та домашньої птиці на вирощуванні щодня виділятимуть більше загального аміачного азоту в наслідок свого росту, створюючи ще більший потенціал викидів NH_3 . Ці два види тимчасової динаміки (доба та виробничий період) необхідно враховувати здійснюючи моніторинг викидів ЗР.

Крім цього, необхідно мати повну інформацію щодо умов виробництва (кількість тварин, їхню живу масу, добові прирости, вид і кількість споживання кормів та води, захворювання чи загибель тварин) та зовнішнього макроклімату для підтвердження репрезентативності результатів вимірювань. На кінцевому етапі необхідно провести порівняння одержаних результатів з уже опублікованими літературними даними щодо показників емісії кожної ЗР.

2.3 Перевірка вимірювань

Для досягнення якісних вимірювань, бажано здійснити такі етапи перевірки даних:

- виконати калібрування датчиків АПСЕ-М відповідно до їхніх специфікацій за допомогою сертифікованих повірочних газових сумішей (ПГС) ДП «Укрметртестстандарт» (рис. 6);
- попередньо здійснити підтверджувальні вимірювання, особливо для тих тваринницьких приміщень, в яких раніше не проводилися вимірювання емісії ЗР за такою схемою дослідження;



Рис. 6 - Балони високого тиску з сертифікованими повірочними газовими сумішами CO_2 і NH_3 для калібрування АПСЕ-М

- необхідно проводити щоденні перевірки штатного режиму роботи ВОК АПСЕ-М та вимірних значень, а також умов утримання тварин та керування вентиляцією;
- перевіряти вірогідність необроблених даних і значень емісії ЗР (наприклад, порівняти масову концентрацію ЗР з огляду на заздалегідь визначений правдоподібний діапазон на основі наукових і технічних знань дослідника). Це допоможе знайти показники викидів з нелогічними значеннями. Ці неправильні значення потрібно видалити з бази даних, відповідно до існуючих критеріїв.

3. Вихідні матеріали для формування електронної бази даних та обробки і аналізу добових показників емісії ЗР у тваринництві

Потрібно зчитати з карти пам'яті кожного моноблока дані моніторингу концентрації ЗР у витяжному повітрі за добовий період та зберегти у форматі Excel (рис. 7), згідно алгоритму наведеному в Інструкції користувача [9].

Дата, час	Тиск, мм.рт. ст.	Воло- гість, %	Тем- пера- тура, °C	Освіт- леність, Лк	CO ₂ , ppm	NH ₃ , ppm	H ₂ S, ppm	CH ₄ , ppm	Пил, мкг/м ³			Шумо- вий тиск, дБ
									PM1	PM2,5	PM10	
21.05.2023 0:02	749,2	69,2	16,8	0	1591	7	0	85	8	11	13	67
21.05.2023 0:04	749,2	69,4	16,6	0	1583	7	0	86	8	11	13	65
21.05.2023 0:06	749,3	69,7	16,5	0	1586	7	0	88	7	10	13	64
21.05.2023 0:08	749,3	69,7	16,6	0	1597	8	0	90	8	12	13	71
21.05.2023 0:10	749,4	69,7	16,7	0	1607	8	0	91	7	12	13	72
21.05.2023 0:12	749,5	69,7	16,7	0	1559	8	0	94	7	12	15	69

Рис. 7 – Скриншот фрагменту бази даних добового моніторингу концентрації ЗР у витяжному повітрі

Після цього формують дві папки з базами даних (у форматі Excel) добового моніторингу метеорологічних параметрів (температура і відносна вологість повітря) та концентрації ЗР у повітрі, зокрема: у витяжному всередині та у припливному ззовні тваринницького приміщення (рис. 8).

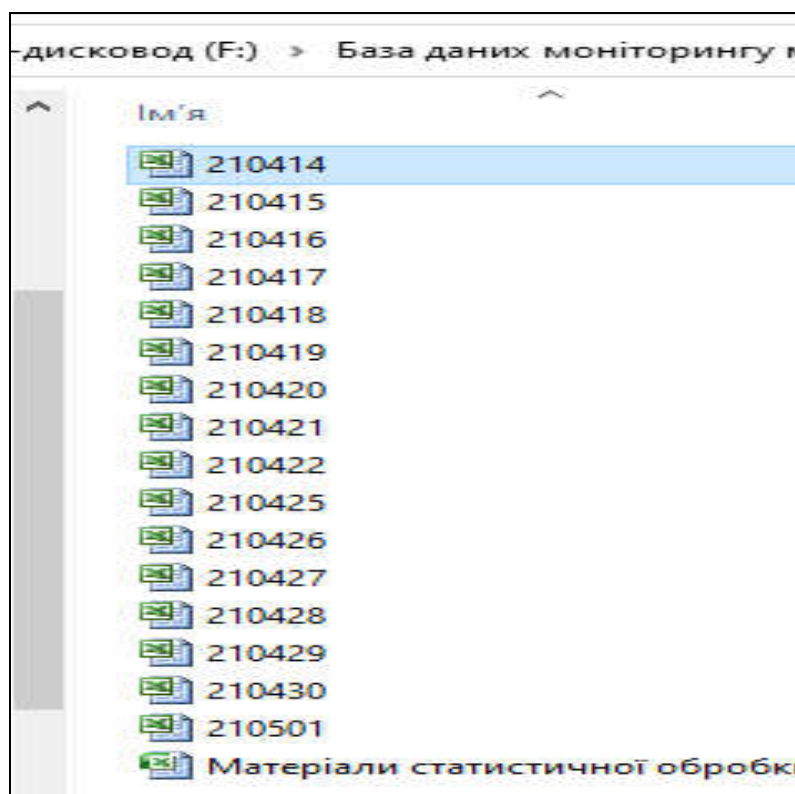


Рис. 8 - Скриншот сформованої бази даних добових викидів ЗР у весняний період року з матеріалами статистичної обробки

Оскільки добовий моніторинг здійснюється одночасно в трьох точках всередині тваринницького приміщення трьома моно-блоковими приладами, спочатку необхідно визначити середньоарифметичні значення по кожному метеорологічному параметру і показнику концентрації ЗР з інтервалом у 2 хв. Далі потрібно визначити середньоарифметичні значення, з інтервалом у 2 хв., по кожному параметру за кількість діб (n) впродовж якої проводилися дослідження.

Для визначення показників емісії забруднювальної речовини з тваринницького приміщення у зовнішнє повітря (з 2 хв. інтервалом) потрібно від середньоарифметичних значень концентрації ЗР внутрішнього повітря, що видаляється, відняти середньоарифметичні значення концентрації ЗР зовнішнього припливного повітря (які виражені у ppm) за допомогою спеціального «калькулятора визначення показників емісії» (рис. 9) в програмі Excel [21-22].

Калькулятор визначення показників емісії CH ₄ , ppm				Добова динаміка показників емісії CH ₄ , г · 100 кг ж. м. ⁻¹ · добу ⁻¹		
час доби	внутрі	зовні	емісія у, ppm	викид в, ppm	поправочний коефіцієнт перерахунку	емісія в, г
0:00	47,2	6,0	41,2	41,2	0,4824	19,87
0:02	47,2	9,0	38,2	38,2	0,4824	18,43
0:04	47,2	8,0	39,2	39,2	0,4824	18,91
0:06	47,2	5,0	42,2	42,2	0,4824	20,36
0:08	47,2	5,0	42,2	42,2	0,4824	20,36
0:10	47,2	7,0	40,2	40,2	0,4824	19,39
0:12	48,2	8,0	40,2	40,2	0,4824	19,39
0:14	47,2	7,0	40,2	40,2	0,4824	19,39
0:16	47,2	5,0	42,2	42,2	0,4824	20,36
0:18	48,2	6,0	42,2	42,2	0,4824	20,36
0:20	47,2	3,0	44,2	44,2	0,4824	21,32

Рис. 9 – Скриншот фрагменту зображення матеріалів калькулятора для визначення показників добової емісії метану в програмі Excel

Для перетворення показників емісії забруднювальної речовини виражену в пропромільях (ppm) у г · 100 кг ж.м.⁻¹ · добу⁻¹ застосовують поправочний коефіцієнт перерахунку (K_p), який визначають за кожен пору року для кожної ЗР чи ПГ за такою формулою:

$$K_p = 100 \cdot \frac{(T \cdot E)}{M}, \quad (3)$$

де
 100 - поправочний коефіцієнт на 100 кг живої маси тварин,
 Т - тривалість доби, 24 години,
 Е - викиди, виражені у г·год⁻¹
 М – загальна жива маса тварин у приміщенні, кг.

Далі потрібно розрахувати за кожним показником та значенням емісії ЗР електронної бази даних такі статистичні показники: середнє добове арифметичне значення (n=720), його помилку, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, коефіцієнт кореляції і його вірогідність у порівнянні з зовнішнім повітрям (рис. 10).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Година/Дата	14.04.21.	15.04.21.	16.04.21.	17.04.21.	18.04.21.	19.04.21.	20.04.21.	21.04.21.	22.04.21.	26.04.21.	27.04.21.	28.04.21.	29.04.21.	30.04.21.	01.05.21.	Середнє з n=15		
2	0:00	17,3	15,8	17,0	17,8	17,6	18,0	17,7	17,4	18,4	21,2	19,7	19,5	21,4	19,0	19,1	18,5	18,5	
3	0:06	17,3	15,7	17,0	17,8	17,6	18,0	17,7	17,3	18,4	21,2	19,7	19,5	21,4	19,0	19,1	18,4	18,4	
4	0:12	17,3	15,7	17,0	17,8	17,7	18,0	17,7	17,3	18,4	21,2	19,6	19,4	21,3	19,0	19,1	18,4	18,4	
5	0:18	17,3	15,5	17,0	17,8	17,8	18,0	17,7	17,1	18,3	21,1	19,5	19,4	21,3	19,0	19,0	18,4	18,4	
6	0:24	17,3	15,5	17,0	17,9	17,8	17,9	17,6	17,1	18,3	21,1	19,4	19,4	21,1	18,9	19,0	18,3	18,3	
7	0:30	17,2	15,5	16,9	17,9	17,9	17,9	17,6	17,0	18,3	21,0	19,3	19,4	20,9	18,8	19,0	18,3	18,3	
8	0:36	17,2	15,4	16,9	17,9	18,0	17,8	17,6	17,0	18,2	21,0	19,3	19,3	20,7	18,8	19,0	18,3	18,3	
9	0:42	17,2	15,4	16,9	17,9	18,0	17,8	17,5	16,9	18,2	20,9	19,2	19,4	20,4	18,8	18,9	18,2	18,2	
10	0:48	17,2	15,3	16,8	17,9	18,0	17,8	17,5	16,9	18,2	20,9	19,1	19,4	20,3	18,7	18,9	18,2	18,2	
11	0:54	17,2	15,3	16,9	17,9	17,9	17,8	17,5	16,8	18,1	20,9	19,0	19,4	20,5	18,7	18,9	18,2	18,2	
12	1:00	17,2	15,2	16,8	17,9	17,9	17,7	17,4	16,8	18,1	20,8	18,9	19,4	20,7	18,7	18,9	18,2	18,2	
13	1:06	17,2	15,2	16,8	17,9	17,8	17,7	17,4	16,8	18,1	20,7	18,7	19,5	20,7	18,6	18,9	18,1	18,1	
14	1:12	17,2	15,2	16,8	18,0	17,8	17,7	17,4	16,8	18,0	20,7	18,7	19,5	20,8	18,6	18,9	18,1	18,1	
15	1:18	17,1	15,1	16,8	18,0	17,7	17,7	17,4	16,6	18,0	20,6	18,7	19,5	20,8	18,6	18,8	18,1	18,1	
16	1:24	17,1	14,9	16,8	18,0	17,6	17,6	17,3	16,5	18,0	20,6	18,6	19,4	20,8	18,5	18,8	18,0	18,0	
17	1:30	17,1	14,8	16,8	18,0	17,5	17,6	17,3	16,5	18,0	20,6	18,4	19,4	20,8	18,5	18,8	18,0	18,0	
18	1:36	17,1	14,7	16,8	17,9	17,4	17,6	17,2	16,3	17,9	20,5	18,3	19,4	20,8	18,6	18,8	17,9	17,9	
19	1:42	17,1	14,6	16,8	18,0	17,3	17,6	17,2	16,5	17,9	20,4	18,2	19,4	20,8	18,6	18,7	17,9	17,9	
20	1:48	17,1	14,6	16,8	17,9	17,3	17,6	17,2	16,5	17,9	20,5	18,2	19,5	20,8	18,6	18,7	17,9	17,9	
21	1:54	17,1	14,5	16,8	17,9	17,2	17,5	17,2	16,6	17,9	20,4	18,1	19,5	20,8	18,6	18,8	17,9	17,9	
22	2:00	17,1	14,5	16,8	17,9	17,2	17,4	17,2	16,5	17,8	20,4	18,1	19,6	20,8	18,6	18,9	17,9	17,9	
23	2:06	17,1	14,4	16,8	17,9	17,2	17,4	17,1	16,4	17,8	20,4	18,0	19,6	20,8	18,5	19,0	17,9	17,9	
24	2:12	17,0	14,4	16,8	17,9	17,1	17,4	17,1	16,4	17,8	20,3	17,9	19,6	20,7	18,5	19,0	17,8	17,8	
25	2:18	17,0	14,3	16,8	17,9	17,1	17,4	17,1	15,7	17,7	20,3	17,8	19,6	20,7	18,5	19,0	17,8	17,8	

Рис. 10 - Скриншот матеріалів статистичної обробки даних добового моніторингу температури повітря свинарника у весняний період (n=15)

Визначають кореляційні та регресійні зв'язки між парами ознак мікроклімату і забруднення повітря та проводять графічний аналіз середньодобових параметрів за періодами року. Наприклад, за розрахунками сили зв'язку між температурою і відносною вологістю повітря ззовні та всередині двох приміщень (із бетонною та щільною підлогою) було встановлено вірогідний переважно позитивний зв'язок (табл. 1).

Таблиця 1 - Зв'язок показників температури та відносної вологості свинарників з бетонною та щільною підлогою із зовнішніми

Тип підлоги; ознаки, що корелюють	Статистичний параметр					
	Cv_y/Cv_x	r	$R_{x/y}$	Cv_z/Cv_w	r	$R_{w/z}$
Бетонна	Температура			Відносна вологість		
$X_1 - y_1; w_1 - z_1$	0,033	0,368***	0,841***	0,340	0,660***	0,434***
$X_2 - y_2; w_2 - z_2$	0,026	-0,513***	0,260***	0,195	0,778***	0,604***
Щільна	Температура			Відносна вологість		
$X_1 - y_1; w_1 - z_1$	0,037	0,146***	0,914***	1,150	-0,367***	0,130***
$X_2 - y_2; w_2 - z_2$	0,083	0,218***	0,043***	0,212	0,359***	0,126***
Бетонна	Температура			Відносна вологість		
$X_3 - y_3; w_3 - z_3$	0,722	0,714***	0,247***	0,475	0,430***	0,284***
$X_4 - y_4; w_4 - z_4$	0,109	0,952***	0,195***	0,538	0,188***	0,318***
Щільна	Температура			Відносна вологість		
$X_3 - y_3; w_3 - z_3$	0,491	0,954***	0,527***	0,488	0,498***	0,246***
$X_4 - y_4; w_4 - z_4$	0,314	0,764***	0,389***	0,577	0,418***	0,172***

Примітка: Температура повітря ($^{\circ}C$) зовні приміщення X_1 – взимку, X_2 – весною, X_3 – влітку, X_4 – осінню; температура повітря ($^{\circ}C$) в приміщенні на висоті 50 см від підлоги y_1 – взимку, y_2 – весною, y_3 – влітку, y_4 – осінню

Відносна вологість повітря (%) зовні приміщення w_1 – взимку, w_2 – весною, w_3 – влітку, w_4 – осінню; відносна вологість повітря (%) в приміщенні на висоті 50 см від підлоги z_1 – взимку, z_2 – весною, z_3 – влітку, z_4 – осінню

Методика щодо графічного відображення аналізу середньодобових коефіцієнтів викидів ЗР 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 викидів ЗР. Точка перетину двох осей (абсцис і ординат) відповідає нульовому значенню показника і часу.

Кожна точка в двовимірній системі координат задається двома числами, які формують впорядковану пару чисел (година і показник викиду), а оскільки значення показника вимірюється через кожні 2 хв. впродовж доби, то таких пар нараховується 720.

Точки перетину цих пар формують криву лінію, яка відображає динаміку змін показника викидів, в часі впродовж доби, для будь-якого забруднюючого газу (рис. 11).

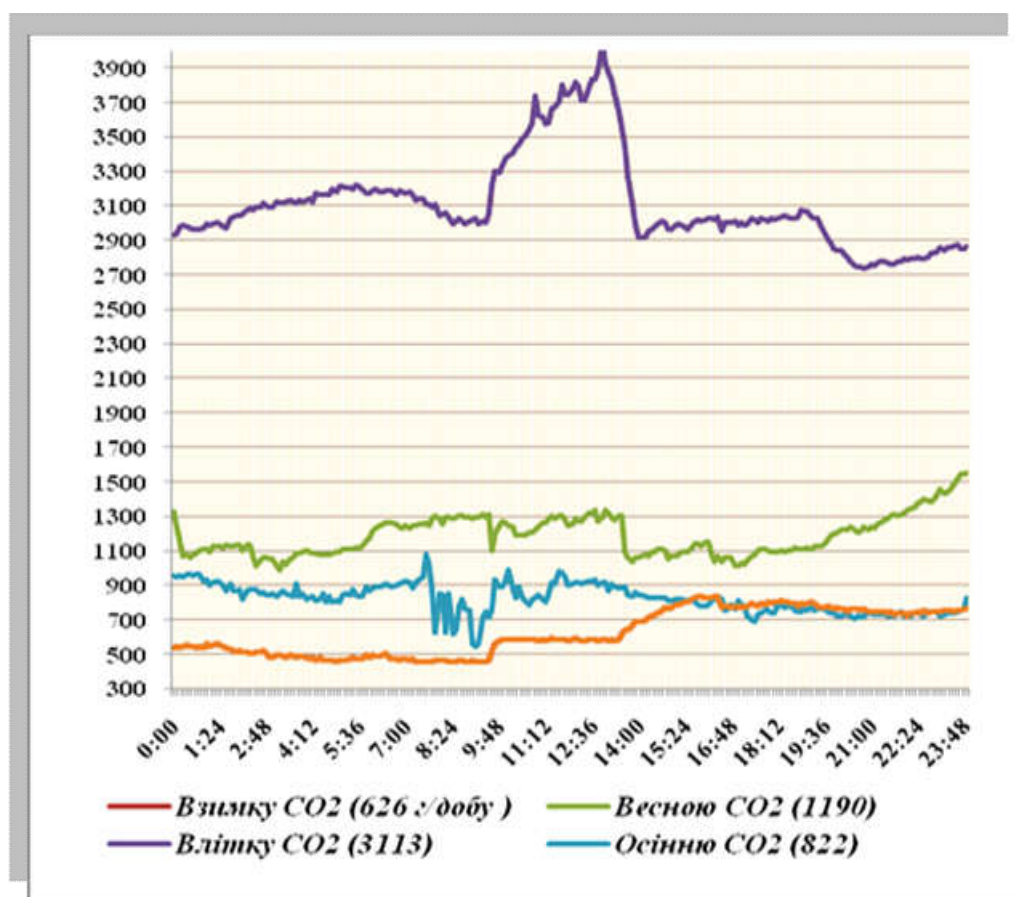


Рис. 11 – Графічний аналіз добової динаміки показників емісії CO₂ (г · 100 кг ж. м.⁻¹ · добу⁻¹) з приміщення крільчатника за періодами року

Крім цього, визначають середньорічну структуру надходження основних ЗР в атмосферне повітря від тваринницького приміщення (рис. 12) та добові зміни емісії парникових газів за теплий і холодний період року (рис. 13).

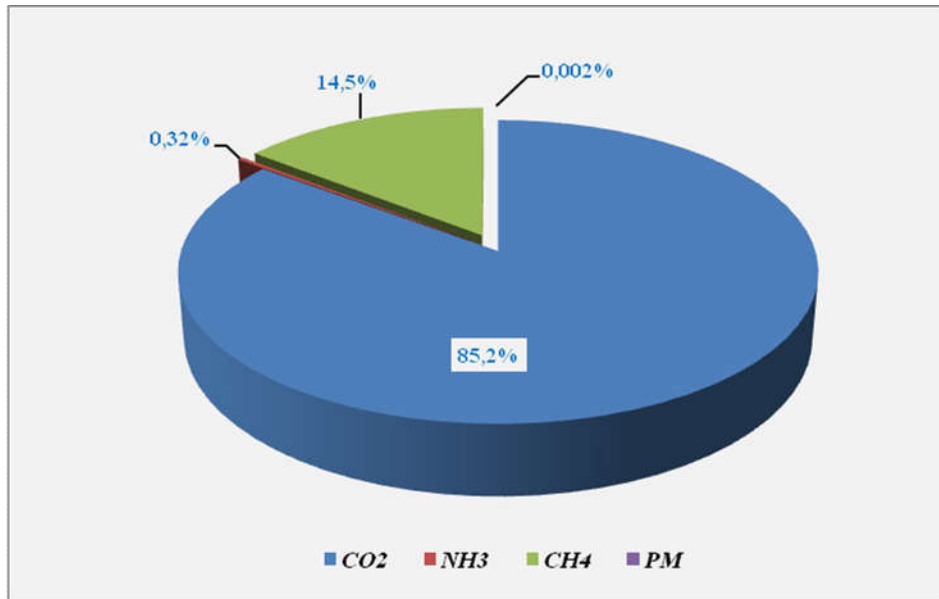


Рис. 12 - Структура надходження основних ЗР ($1745,2 \text{ г} \cdot \text{добу}^{-1}$ на 100 кг ж. м.) в атмосферне повітря від свинарника зі щільною підлогою станків, у середньому за чотири періоди року

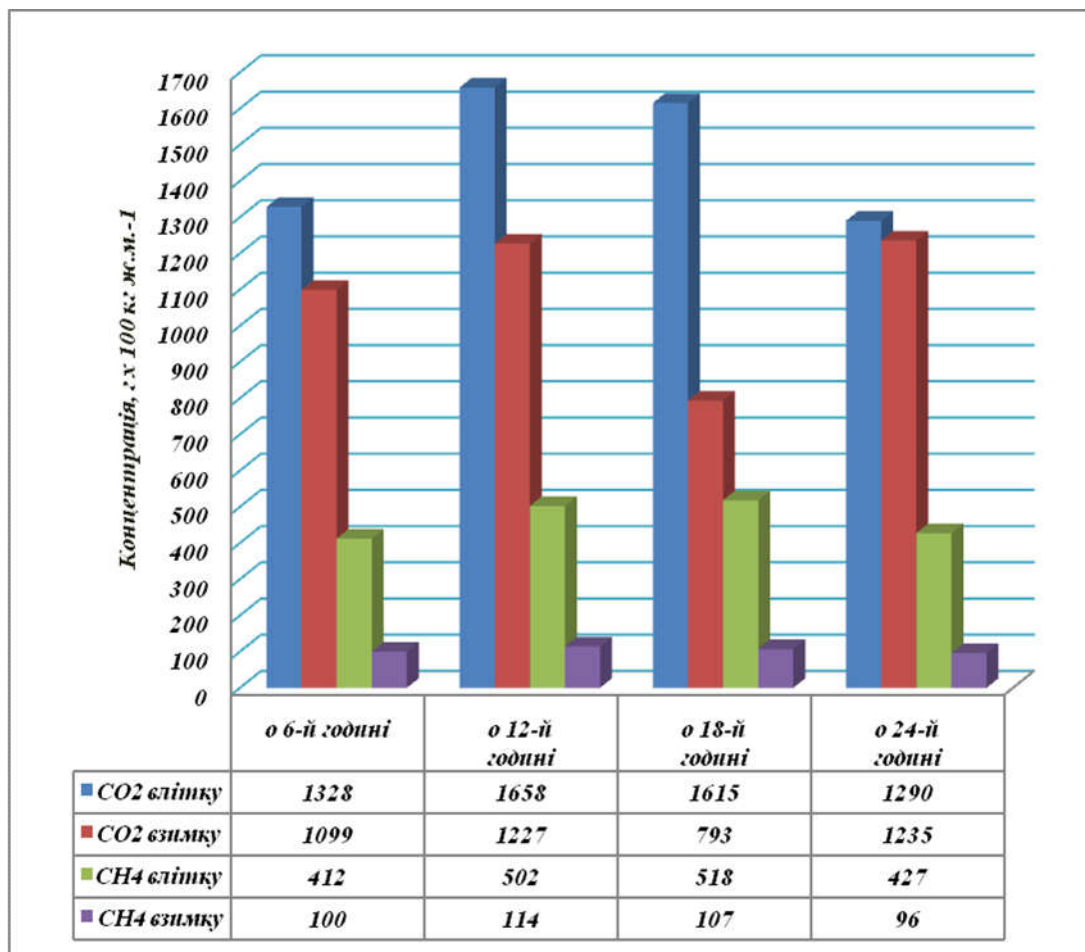


Рис. 13 - Добові зміни емісії парникових газів за теплий і холодний період року з свинарника зі щільною підлогою станків

На кінцевому етапі визначають силу впливу (η_x^2) деяких паратипових факторів на мінливість показників температури повітря, емісії вуглекислого газу, аміаку, метану та дрібнодисперсного пилу (табл. 2).

Таблиця 2- Сила впливу періоду року на мінливість показників емісії ЗР із свинарників за утримання тварин на бетонній та щільній підлозі

Показник	$\eta_x^2 \pm m_\eta$	F	p
Температура повітря всередині, °C	0,80±0,001	2544,6	<0,001
Відносна вологість всередині, %	0,29±0,001	267,4	<0,001
Емісія CO ₂ , ppm	0,79±0,001	2470,0	<0,001
Емісія NH ₃ , ppm	0,35±0,001	348,4	<0,001
Емісія CH ₄ , ppm	0,12±0,002	86,5	<0,001
Емісія пилу PM ₁₋₁₀ , мкг/м ³	0,44±0,001	500,9	<0,001

4. Корпусна (камерна) методика постановки дослідів з визначення емісії ЗР від тваринницьких відходів (гною) приладом АПСЕ-ММ

Камерний підхід часто використовується для кількісного визначення викидів із поверхонь гноярок для зберігання підстилкового гною, у лагунах для накопичення рідкого гною, місцях накопичення сече-калових виділень від окремих тварин або невеликих груп тварин (вигульні загони, пасовища тощо).

Оскільки камери для поверхневих вимірювань зазвичай займають 1 м² або менше і є корисними для кількісного визначення мінливості викидів, проте, вони є трудомісткою технікою. Однак, цей недолік можна частково пом'якшити за допомогою автоматизованої системи зі спеціалізованою закритою прозорою камерою (із пластика) довжиною $d = 0,243$ м, шириною $s = 0,163$ та висотою $h = 0,253$ м, об'ємом $V = 0,010$ м³. Вона з'єднується отвором із газоаналітичною камерою приладу АПСЕ-ММ та кріпиться гвинтами до корпусу з гумовим ущільнювачем (рис. 14).

В умовах досліджень денного періоду (від 9.00 ранку до 19.00 вечора) експозиційна камера встановлюється з інтервалом часу 3 години, в мінімум п'яти точках, на доступну поверхню ділянки гнойових відходів по діагоналі (підстилковий гній, вигульна площадка)

чи по периметру (лагуна з рідким гноєм), врізаючи камеру на глибину 1-2 см для попередження витікання ПГ в період експозиції.



Рис. 14 – Загальний вигляд приладу АПСЕ-ММ зі спеціалізованою камерою

Сама експозиція вимірювання концентрації ПГ відбувається до встановлення постійного значення на що витрачається до 10 хв., а для визначення емісії ПГ експозиція має становити до 20 хв., залежно від вологості гною та його біологічної активності. Одночасно проводиться вимірювання вологості і температури приземного шару повітря та атмосферного тиску. Крім цього, визначається площа поверхні ділянки з гнойовими відходами (гнойрки чи лагуни) в м² та середнє значення показників емісії за кожним парниковим газом для визначення загального значення викидів за добовий період.

За даними Д. Ролстона (1986) для статичних камер дифузійні викиди кількісно визначаються безпосередньо зі зміни концентрації ПГ протягом короткого часового ряду, помноженого на співвідношення об'єм/площа камери. Звідси викиди (E) (виражені у мг·год⁻¹) ПГ розраховуються за такою формулою:

$$E = \left(\frac{\Delta PГ}{\Delta t} \cdot \frac{V}{S} \right) \cdot 60, \quad (4)$$

де: Δ ПГ – приріст концентрації ПГ, мг/м³

Δt – час експозиції до встановлення постійного значення, хв.;

V – об'єм повітря в експозиційній камері, m^3 ;
 S – площа в основі камери, m^2 ;
60 – коефіцієнт перерахунку емісії ПГ за 1 годину.

5. Методика проведення досліджень з визначення емісії ПГ у землеробстві приладом АПСЕ-ММ

5.1 Постановка дослідів з визначення емісії ПГ в агроландшафтах

Сутність досліджень полягає у комплексних визначеннях, що включають визначення газового складу в надґрунтовому атмосферному шарі повітря, волого-температурних та ґрунтових агрохімічних параметрів в період вегетації культур сівозміни за різних технологічних впливів та природних ценозах, що пов'язано з науковим обґрунтуванням й упровадження комплексу організаційних, проектних та агротехнічних заходів, які збільшуватимуть обсяги біологічної асиміляції біогенних газів, насамперед CO_2 , з подальшою їх секвестрацією рослинами та депонуванням чорноземними ґрунтами.

5.2 Загальні цілі та вимоги до проведення досліджень

Цілі дослідження полягають в оцінці емісії ПГ (CO_2 , CH_4) в орних чорноземних ґрунтах за використання добрив і за застосування різних видів основного обробітку ґрунтів під різні культури в агроценозі. Завдання дослідження включають такі питання:

- визначення прямої емісії ПГ з орних ґрунтів різного ступеня окультуреності за внесення мінеральних та органічних добрив;
- визначення впливу мінеральних та органічних добрив на пряму емісію ПГ із ґрунтів за вирощування зернових та просапних культур і культур суцільної сівби та варіантів чистого пару;
- оцінка впливу різних способів основного обробітку ґрунтів (оранка, система прямої сівби, мінімальний обробіток) на пряму емісію ПГ на прикладі орних чорноземів.

Основною вимогою проведення досліджень емісії ПГ є їхня систематичність і достовірність із проведенням спостережень відносно природного еталона – переліг або цілина.

Загалом емісія парникових газів (ПГ) із ґрунтів в агроценозах вимірюється безпосередньо в польових умовах, а також розраховуються з використанням емпіричних та орієнтованих на процес моделей. З огляду на актуальність і достовірність даних про ґрунтове дихання,

метод камер є найкращим, оскільки його результати дають змогу отримати більш предметну фактичну інформацію.

5.3 Метод камер

Моніторинг емісій CO_2 , CH_4 і N_2O проводять за допомогою відомого методу камер (експозиційних камер). Принцип камерного методу дуже простий. На поверхню ґрунту встановлюється герметична камера, нижня основа якої відсутня. Відкритою частиною камера встановлюється в ґрунт, і гази, що виділяються з нього, надходять у камеру, накопичуючись у вільному просторі. За кривою зміни концентрації даного газу в камері можна розрахувати величину потоку. Цей метод є найпоширенішим методом кількісної оцінки прямих емісій парникових газів із ґрунтів у польових умовах і дає змогу дослідникам самостійно регулювати місце розташування камер і час експозиції.

Камерні системи можна розділити на закриті та відкриті, при цьому закриті камери поділяються на закриті статичні та закриті динамічні. Закриті динамічні камери можуть також згадуватися як нестационарні проточні камери. Досі немає стандартизованої камерної системи, яка може сприяти прямому порівнянню наборів даних різних дослідницьких груп. Усі камерні системи рекомендується оснащувати допоміжними датчиками для реєстрації основних параметрів, що впливають на емісію ґрунту. Датчики температури, тиску та відносної вологості встановлюють усередині камери, щоб реєструвати умови довкілля та реєструвати відмінності всередині камери.

У польових умовах експозиційна камера встановлювалася в інтервалі часу 11-12 годин дня на поверхню ґрунту дослідної ділянки, шляхом врізання камери в ґрунт на глибину 2-3 см з наступним обсіпанням камери по периметру рихлим ґрунтом для попередження витікання ПГ в період експозиції.

Сама експозиція вимірювання концентрації ПГ відбувається до встановлення постійного значення, на що витрачається від 6 до 10 хв., а для визначенні емісії ПГ експозиція має становити до 20-25 хв., залежно від вологості ґрунту та його біологічної активності. Одночасно відбувається вимірювання: вологості та температури приземного шару повітря, атмосферного тиску; вмісту елементів живлення, рН ґрунтового середовища та вологості і температури повітря.

Під час визначення обсягів емісії-депонування CO_2 ґрунтом і рослинами різних сільськогосподарських культур використовується пластикова закрита прозора камера довжиною $d = 0,18$ м, шириною $s =$

0,13 та висотою $h = 0,14$ м, об'ємом $V = 0,003276$ м³, яка з'єднується отвором із газоаналітичною камерою вимірювального приладу та кріпиться гвинтами до корпусу з гумовим ущільнювачем (рис. 15).

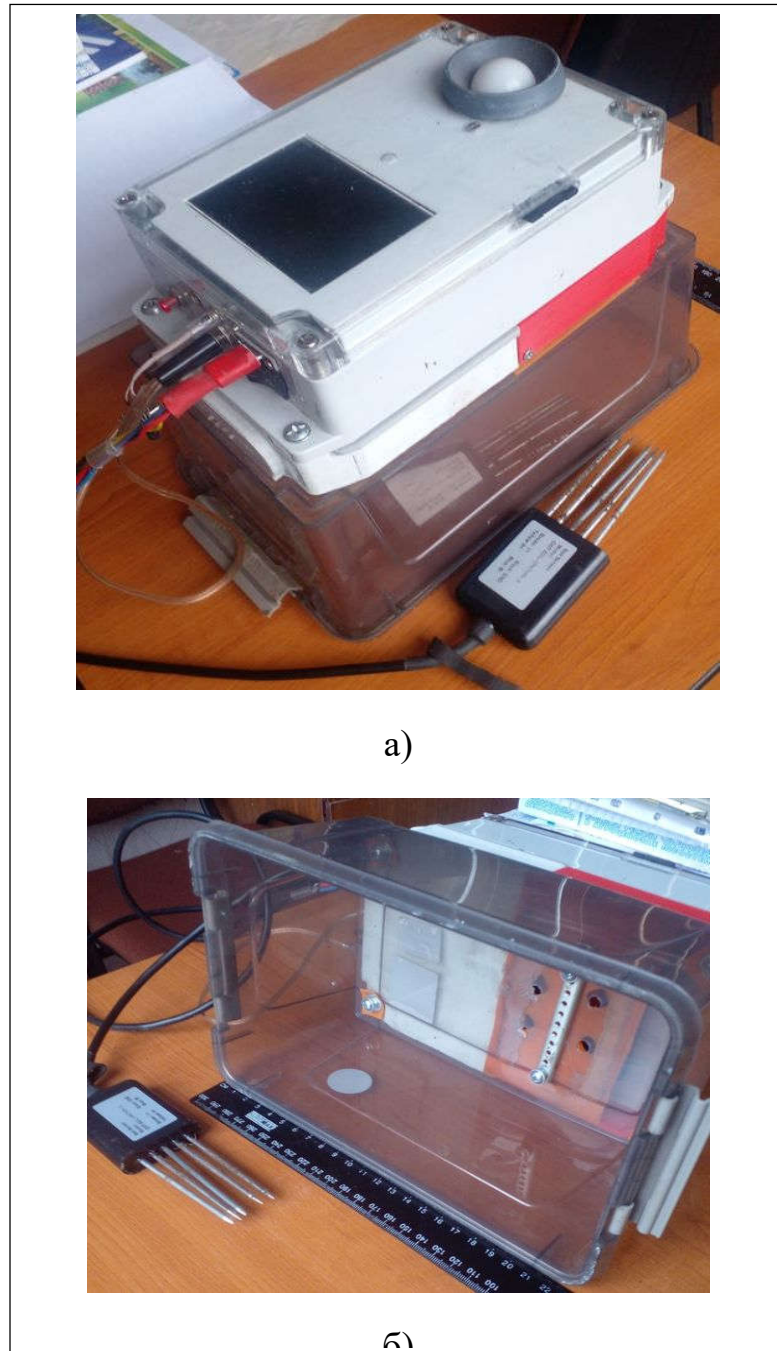


Рис. 15 – а) Загальний вигляд аналізатора повітряного середовища (АПСЕ-ММ);
б) Експозиційна камера для дослідження емісії парникових газів з датчиками CWSoil (NPK) manual у землеробстві

При вимірюванні камера повинна врізатися в ґрунт на глибину 2-3 см. Швидкість виділення CO₂ та CH₄ розраховується за такими формулами:

$$C - CO_2 = (\Delta C - CO_2 \cdot 44 \cdot V \cdot 60 \cdot 24) \cdot 22,4 \cdot \Delta t \cdot S, \quad (5)$$

$$C - CH_4 = (\Delta C - CH_4 \cdot 16 \cdot V \cdot 60 \cdot 24) \cdot 22,4 \cdot \Delta t \cdot S, \quad (6)$$

де: $\Delta C - CO_2$ або $C - CH_4$ – приріст в об'ємних відсотках, % об;

44 та 16 атомна маса CO₂ та CH₄;

V – об'єм повітря в камері приладу, см³;

60 – перерахунок на годину;

24 – перерахунок на добу;

22,4 – об'єм грам-молекули CO₂ та CH₄, м³;

Δt – час експозиції, хв.;

S – площа ґрунту в основі камери, см².

Дослідження проводиться з використанням методу ключових ділянок на основних ґрунтах. Прив'язка точок здійснюється з допомогою GPSmapGARMIN 62 до географічної системи координат WGS 84 з точністю ≤ 3 м. У якості картографічної основи досліджень використовуються ґрунтові карти масштабу 1:10000. Відбір змішаних ґрунтових зразків здійснюється методом конверту (1×1 м) з шару 0-30 см. У відібраних зразках у лабораторних умовах визначаються такі показники: вміст лужногідролізованого азоту за Корнфілдом, гумусу за Тюрінім, фосфору та калію за Кірсановим, рН сольовий за ГОСТ 26483 – 85.

Визначення вологості ґрунту у шарі 0-10 см (% об'ємної вологи) проводиться методом частотної рефлектометрії з використанням вологоміра MST 3000+ із сенсором SMT 100, забезпечуючи 6-ти разову повторність вимірювань.

З метою виокремлення вуглецевих потоків, які надходять із ґрунту й асимілюються або виділяються наземною масою рослини (у світлу та темну частини доби), а також депонуються ними, застосовується різницевий метод, який передбачає синхронізовані вимірювання емісії-депонування CO₂ на ґрунті з рослиною та без неї. Обсяг CO₂ визначається із врахуванням об'єму рослин за величинами зниження або підвищення газу в повітрі камери протягом п'ятихвилинної експозиції за методологією та формулами моніторингу CO₂ Трофименко П.І. та ін., 2019 [24].

6. Вихідні та кінцеві матеріали для формування електронної бази даних та обробки і аналізу показників емісії ПГ у землеробстві

dd.mm.yy hh:mm	Vbat	Pres	Hum	Temp	Hum	CO2	NH3	NO2	O2	CH4	N	P	K	H	T	PH	T1	T2	T3
09.04.2024 8:24	4,02	755,7	52,6	21	65535	1220	0	0	20,7	170	0	0	0	0	21,3	3	20,4	20,3	20,3
09.04.2024 8:30	4,02	755,7	51,6	21,1	65535	1227	0	0	20,8	158	0	0	0	0	20,5	3	20,3	20,3	20,3
09.04.2024 8:36	4,02	755,7	50,6	21,3	65535	1228	0	0	20,8	124	0	0	0	0	21,2	3	20,3	20,3	20,3
09.04.2024 8:42	4,02	755,7	49,8	21,4	65535	1222	0	0	20,8	80	0	0	0	0	20,5	3	20,2	20,3	20,3
dd.mm.yy hh:mm	Vbat	Pres	Hum	Temp	Hum	CO2	NH3	NO2	O2	CH4	N	P	K	H	T	PH	T1	T2	T3
09.04.2024 9:12	4,18	755,8	51,2	21,4	87	1260	0	0	20,8	85	0	0	0	0	17,8	3	18,9	19	18,9
09.04.2024 9:18	4,18	755,9	49,9	21,1	97	1246	0	0	20,8	82	0	0	0	0	17,6	3	18,8	18,9	18,8
09.04.2024 9:24	4,18	755,9	48,5	21	128	1197	0	0	20,8	58	0	0	0	0	17,2	3	18,3	18,5	18,4
09.04.2024 9:30	4,19	755,3	48	22,1	47759	1126	0	0	20,8	42	4	56	48	15,5	14,6	8,5	21	21,1	21,1

Рис. 16 - Скриншот матеріалів статистичної обробки даних визначення емісії парникових газів за період досліджень

6.1 Приклад визначення статистичних параметрів концентрації CO₂ та CH₄ в приземному шарі повітря за різних способів обробки та утримання чорнозему в агроценозі

У загальній моделі визначення концентрації (у ppm) CO₂ у приземному шарі повітря проведено 117 визначень. Середнє значення концентрації CO₂ співпадало з значенням за концентрації за медіаною 579 ppm та 572 ppm ($\Delta=7$ ppm), а значення концентрації за модою становило 481 ppm. Розмах варіації $\Delta_R=336$ ppm. Модальна (Mo) концентрація CO₂ більшою мірою тяжіла до мінімального значення розмаху вибірки: різниця між мінімальним значенням концентрації та Mo становила 46 ppm. На гістограмі розподілу ймовірностей концентрація CO₂ у приземному шарі повітря виявлено 3 модульних значення: в інтервалі 450-500 ppm, 550-600 ppm та 650-700 ppm. Нормований квантильний розмах ($\Delta_H=L_{0.75}-L_{0.25}$) становив 186 ppm, а значення концентрації CO₂ за медіаною більшою мірою тяжіло до нижнього ($L_{0.25}$) значення концентрації. За 10 % рівнем вірогідності розмах (Δ_H) становив 245 ppm, а значення концентрації CO₂ за $L_{0.75}$ мало відрізняється від значення концентрації за $L_{0.90}$: $\Delta=+27$ ppm. Коефіцієнт варіації становив 16,4 %, що характеризує сезонні виміри концентрації CO₂ у приземному шарі повітря як допустимі (табл.3).

Коефіцієнт асиметрії розподілу має додатне значення ($K_A=0,14$), що характеризується правосторонньою низькою ($A_s<0,25$) асиметрією.

Таблиця 3 – Числові характеристики вибірок параметрів концентрації CO₂, CH₄ та співвідношення CO₂ до CH₄ залежно від способу обробітку в п'ятипільній зерновій сівозміні за квітень-жовтень 2023 року

Способи обробітку	Середнє	Mediana	Minim.	Maxim.	Нормований розмах		Середньоквадратичне відхилення, Std.Dev. ppm	Коефіцієнт варіації Coef.Var., %	Коефіцієнт	
					L _{0,25}	L _{0,75}			асиметрії	ексцесу
			$\Delta_a = \text{Max} - \text{Min}$	$\Delta_n = L_{0,75} - L_{0,25}$ (50%)						
CO₂, ppm										
*Загальна	579	572	435	771	487	673	95,1	16,4	0,14	-1,30
Оранка	602	609	444	771	545	667	89,4	14,8	0,01	-0,66
Поверхневий	588	586	435	725	506	670	85,0	14,5	-0,07	-1,16
No-till	569	564	440	726	481	667	94,9	16,7	0,21	-1,42
CH₄, ppm										
*Загальна	146	145	28,2	321	97,0	187	58,4	39,9	0,73	0,77
Оранка	137	132	14,0	293	94,0	189	66,7	48,6	0,37	-0,06
Поверхневий	142	118	72,0	321	98,0	179	60,8	42,8	1,37	1,91
No-till	141	148	33,4	316	92,5	185	57,1	40,5	0,56	0,92
CO₂ до CH₄										
*Загальна	4,79	3,78	1,98	17,4	2,79	6,48	2,63	54,9	1,51	3,57
Оранка	5,00	4,82	2,21	10,2	2,90	6,86	2,36	47,21	0,65	-0,69
Поверхневий	4,88	4,94	1,98	9,24	2,82	6,56	2,11	43,2	0,28	-1,01
No-till	5,01	3,43	2,22	15,3	2,82	7,34	2,87	57,2	1,17	1,13

Примітка: НІР_{0,5} (CO₂) = 14 ppm; НІР_{0,5} (CH₄) = 8,0 ppm; НІР_{0,5} (CO₂ до CH₄) = 0,21 ppm;

* Загальна – загальна модель для обробітків.

Іншою властивістю одновершинного розподілу є ступінь зосередженості елементів сукупності навколо центру розподілу, який є ексцесом (скошеністю). Коефіцієнт ексцесу мав від'ємне значення ($E_s < 0$), що відповідає плоско-вершинному характеру розподілу. Проведена нормалізація сукупності визначень концентрації CO₂ у приземному шарі повітря в інтервалі зміни концентрації ($X_{\text{max}} - X_{\text{min}}$) не лягають на пряму, а тому навіть після нормалізації розподілу у вибірці не наближуються до нормального розподілу.

За систематичної оранки середня концентрація CO₂ у приземному шарі повітря співпадає зі значенням за медіаною: 602 ppm та 609 ppm, а модульне значення є полі-модальним в інтервалі 550-700 ppm, 450-500 ppm та 750-800 ppm. Значення концентрації CO₂ за середнім та

медіаною суттєво вищі за значення загальної моделі, а розмах варіації становив 327 ppm, що нижче значень загальної моделі на 9 ppm.

Нормований квантильний розмах становив $\Delta_H=122$ ppm (60 %) за більш високого (+58 ppm) значення по $L_{0,25}$ та нижчого (6 ppm) значення концентрації CO_2 по $L_{0,75}$. Нормований розмах за оранки був меншим відносно розмаху за загальною моделлю в 1,3 рази, а за 10 % рівнем значимості – у 1,06 рази.

Коефіцієнт варіації становив 14,8%, що є слабовираженою варіацією. Коефіцієнт асиметрії становив $A_s=0,01$, що наближено до відсутності асиметрії в розподілі визначень концентрації CO_2 , а коефіцієнт ексцесу мав від'ємне значення ($E_s=-0,66$), що характеризує розподіл як плосковершинний. Порівняно з загальною моделлю плосковершинність розподілу сукупності визначень за оранки була менш виражена – у 2 рази.

За поверхневого обробітку середнє значення концентрації CO_2 у приземному шарі повітря співпадали із значенням концентрації за медіаною: $X-Me=2$ ppm. Амплітудний розмах варіації (Δ_a) становив 290 ppm, що менше за загальну модель і оранку в 1,13-1,16 рази за рахунок зниження концентрації CO_2 за максимальним значенням на 46 ppm.

Нормований розмах концентрації CO_2 за 50 % рівнем значимості ($\Delta_H=L_{0,75}-L_{0,25}$) становив 164 ppm, що вище відносно оранки в 1,3 рази, а відносно загальної моделі вище в 1,05 рази, що забезпечується зростанням значень концентрації CO_2 за $L_{0,25}$ відносно загальної моделі на 19 ppm та зниженням відносно оранки – на 36 ppm.

За 10 % рівнем значимості розмах концентрації CO_2 був нижчим в 1,18 та 1,12 рази відносно загальної моделі та оранки за зростаючих відносно загальної моделі та оранки значень концентрації CO_2 до 481 ppm ($L_{0,25}$) та зниження до 688 ppm за $L_{0,90}$. Коефіцієнт варіації становив 14,5%. Коефіцієнт асиметрії був близьким до нуля (-0,07), а асиметрія характеризувалася низькою асиметричністю. Коефіцієнт ексцесу був на рівні $E_s=-1,16$, що характеризує розподіл як плосковершинний.

Нормалізація сукупності вимірів показала, що в інтервалі значень концентрації CO_2 550-600 ppm виміри лягають на пряму, а в інтервалах <550 ppm та >650 ppm значно відхиляються від прямої лінії, що характеризує як незначне відхилення від нормального розподілу сукупності вимірів CO_2 . Порівняно з оранкою відхилення від нормального розподілу більш виражене.

За системи No-till середнє значення концентрації CO_2 у приземному шарі повітря за теплий період року співпадає з

концентрацією за медіаною – 569 та 564 ppm відповідно, а самі значення концентрації були нижчими за значення за оранки та поверхневого обробітку на 19-33 ppm та на 22-45 ppm відповідно.

Амплітудний розмах варіації становив 286 ppm, що нижче відносно оранки на 41 ppm, що пов'язано зі зниженням концентрації за максимальним значенням на 45 ppm. Розмах варіації за поверхневого обробітку та No-till був однаковим.

Нормований розмах за 50 % рівнем значимості становив 186 ppm, що вище відносно оранки в 1,52 рази, а відносно поверхневого обробітку – 1,13 рази. За 10 % рівнем значимості розмах становив 249 ppm, що є вищим відносно оранки та поверхневого обробітку. Коефіцієнт варіації становив 16,7 %, асиметрії – $\Delta_s=0,21$, що свідчить про слабку правосторонню асиметрію, а сама крива розподілу має плоско-вершинний характер ($E_s<0$).

Спостерігається зростання асиметричності і плосковершинності відносно оранки у 21 разів та 2,2 рази, що пов'язано з відхиленням розподілу даних вимірювання від нормального розподілу найбільшою мірою відносно оранки.

Середня концентрація CH_4 співпадала з концентрацією метану за медіаною – 145-146 ppm, але модальне значення концентрації було в 1,36 рази вищим. Амплітудний розмах варіації становив 293 ppm, а нормований за 50 % рівнем значимості – 90 ppm. Нормований розмах за 10 % рівнем значимості становив 119 ppm, за коефіцієнта варіації $Coef.var. = 39,9\%$. Коефіцієнт асиметрії мав додатне значення і виходив за межі $A_s=0,54$, що свідчить про підвищену варіативність вимірювання концентрації CO_2 у приземному шарі повітря. Ексцес був додатним $E_s=0,77$, що свідчить про гостро-вершинний характер розподілу.

За оранки близьким за значенням було середнє та медіанне значення концентрації CO_2 – 132-137 ppm. Розмах варіації становив 279 ppm, а нормований розмах за 50 % рівнем значимості – 95 ppm, за 10 % рівнем – 147 ppm, за коефіцієнта варіації – 48,9 %. Коефіцієнт асиметрії мав додатне значення і не виходив за критичний рівень $A_s>0,54$, що є слабкою асиметрією. Ексцес наближений до значення нормального розподілу.

За поверхневого обробітку середня концентрація CH_4 не співпадає зі значенням за медіаною, яке в 1,20 рази менше за значенням. Розмах вибірки становив 249 ppm, що в 1,18 рази менше порівняно з оранкою, а нормований розмах за 50 % рівнем значимості становив 81 ppm, що досягається більш низьким значенням по $L_{0,75}$ на 8-10 ppm. Коефіцієнт

варіації становив 42,8 %, а коефіцієнт асиметрії був вищим за $A_s > 0,5$, що відповідало лівосторонній асиметрії з високим рівнем. Коефіцієнт ексцесу відповідав умові $E_s > 0$ і обумовлював гостро-вершинну криву розподілу відносно центру. Нормалізований розподіл показує, що розподіл вибірки виміру концентрації CH_4 не лягає на пряму нормограми, що свідчить про відхилення вибірки від нормального розподілу вимірів, а сам розподіл є полі-модальним у інтервалі 50-250 ppm проти 50-300 ppm за оранки. За системи No-till середнє значення концентрації CH_4 співпадає з значенням за медіаною (141-148 ppm), а модальне набуває значення в 1,33-1,40 рази менше. Максимальний розмах вибірки виміру концентрації CH_4 становив 233 ppm і за своїми параметрами відрізняється як від оранки, так і поверхневого обробітку, а нормований розмах за 50 % рівнем значимості не відрізнявся від зазначених варіантів обробітку ґрунту. Коефіцієнт варіації становив 40,5 % за коефіцієнта асиметрії $A_s = 0,56$ (середній прояв) та ексцесу $E_s = 0,92$, що наближено до гостро-вершинного розподілу.

Нормалізація розподілу показує, що розподіл вибірки дещо відмінний від нормального розподілу, але зазначена властивість вибірки за системи No-till найбільшою мірою тяжіє до нормального розподілу порівняно з оранкою та поверхневим обробітком. У цілому за загальною моделлю середня і медіанна концентрація рівні між собою, а модальне значення концентрації CH_4 зростає в 1,35 рази. Амплітудний розмах становив 292 ppm за нормованого розмаху за 50 % рівнем значимості 90 ppm та за 10 % рівня значимості – 119 ppm, за коефіцієнта варіації – 89,9 %. Середній коефіцієнт асиметрії відповідав умові $A_s > 0,5$ (високий рівень), а за ексцесу $E_s = 0,77$ (гостро-вершинний розподіл). Після проведення нормалізації розподілу у виборці виявлено, що є значне відхилення від нормального розподілу.

За загальною моделлю середнє значення співвідношення CO_2 до CH_4 становило $V = 4,79$. Співвідношення за медіаною становило $V = 3,78$. Амплітудний розмах варіації становив $\Delta_a = 15,4$, а нормований за 50 % рівня значимості $\Delta_a = 3,69$, за 10 % рівня значимості $\Delta_a = 5,85$ за коефіцієнта варіації – 54,9 %. Розподіл характеристики центра вибірки має правосторонню асиметрію $A_s > 0,5$ – високий рівень асиметрії. Ексцес набуває додатного значення ($E_s > 0$) і відповідає гостро-вершинному розподілу.

Нормалізація розподілу у вибірці не наближує розподіл до нормального. За оранки середнє значення співвідношення $V = 5,0$ за медіанного значення $V = 4,85$, що є близьким. Амплітудний розмах

варіації становив $\Delta_a=8,0$ за рахунок зниження максимального значення відносно середнього за загальною моделлю в 1,71 рази та зростання мінімального в 1,12 рази. Нормований розмах за 50 % рівнем значимості $\Delta_n=3,96$, а за 10 % рівнем значимості $\Delta_n=5,75$. Коефіцієнт варіації становив 47,2 %. Коефіцієнт асиметрії відповідав правосторонній високого рівня асиметрії, а ексцес відповідав плосковершинному типу розподілу.

Нормалізація розподілу у вибірці показує від нормального розподілу значною мірою, а сам розподіл співвідношення є полі-модальним з формуванням моди в інтервалах $V_1=2-3$, $V_2=3-4$, $V_3=5-6$, $V_4=8-9$, що свідчить про динамізм у формуванні співвідношення CO_2 до CH_4 за систематичної оранки.

$V=4,88$, що близько до медіанного значення за амплітудного розмаху варіації $\Delta_a=7,26$, що дещо менше порівняно з оранкою та у 2,12 рази менше порівняно з значенням співвідношення за загальною моделлю. Нормований розмах за 50 % рівнем значимості мало відрізнявся від розмаху за оранки та загальної моделі. Нормоване співвідношення за 10 % рівнем значимості мало тенденцію до зменшення за рахунок зниження абсолютних значень $L_{0,1}$ та $L_{0,90}$, що вплинуло на коефіцієнт варіації, який був нижчим на 4 % відносно оранки та на 11,7 % відносно загальної моделі. Розподіл сукупності вибірки мав високий рівень асиметрії $A_s>0,5$, а ексцес характеризувався плосковершинним характером. Статичний розподіл вибірки співвідношення CO_2 до CH_4 є полі-модальним: $V_1=2-3$ та $V_2=6-7$. За системи No-till середнє значення співвідношення було достовірно вищим відносно загальної моделі, співвідношення за медіаною відхилялося від середнього значення 31,5 %, тоді як за оранки відхилення становило 3,6 %, а за поверхневого обробітку значення співвідношення перевищувало середнє значення на 1,22%. У загальній моделі зазначене перевищення середнього значення співвідношення становило 21,0 %.

Амплітудний розмах варіації вибірки становив $\Delta_a=13,1$ за рахунок зростання максимального значення відносно оранки та поверхневого обробітку в 1,5-1,7 рази. Нормований розмах за 50 % рівнем значимості становив $\Delta_n=4,52$, що вище в 1,15-1,22 рази відносно оранки, поверхневого обробітку та загальної моделі. Нормований розмах за 10 % рівнем значимості становив $\Delta_n=6,5$, що вище в 1,03-1,21 рази відповідно, що вплинуло на коефіцієнт варіації, який був на рівні 57,2 % та переважав оранку і поверхневий обробіток в 1,21-1,32 рази.

Розподіл сукупності вибірки за коефіцієнтом асиметрії відповідав високому рівню правосторонньої скошеності та гостровершинному розподілу за рівнем ексцесу. При цьому розподіл вибірки найбільшою мірою був віддалений від нормального розподілу. За полі-модального розподілу інтервал зміни співвідношення CO₂ до CH₄ найчастіше зустрічався B₁=2-4 та B₂=6-8.

На базі всієї сукупності визначень концентрації CO₂ та CH₄, вологості та температури приземного шару повітря (139 визначень) на варіантах обробітку ґрунту, чистого пару та перелігу проведено статистичну оцінку зазначених параметрів. Встановлено, що середня концентрація CO₂ становила 583 ppm. Середнє значення концентрації CH₄ за утримання чистого пару становило 139 ppm, що відповідає значенням, які не виходять за межі достовірної концентрації з іншими варіантами, а відносно утримання перелігу концентрація CH₄ була меншою в 1,59 рази, як і для варіанта оранки та в 1,61–1,67 рази для інших варіантів визначення (табл. 4).

Таблиця 4 – Числові характеристики вибірок параметрів концентрації CO₂, CH₄ та співвідношення CO₂ до CH₄ в приземному шарі повітря залежно від утримання чорнозему опідзоленого за червень-жовтень

Способи обробітку	Середнє	Mediana	Minim.	Maxim.	Нормований розмах		Стандартна похибка, Std.Dev. ppm	Коефіцієнт, Coef.Var., %	Коефіцієнт	
					L _{0,25}	L _{0,75}			асиметрії	ексцесу
					$\Delta_n = L_{0,75} - L_{0,25}$ (50%)					
CO₂, ppm										
*Повна з.г.м.	583	576	435	771	492	665	91,4	15,7	0,05	-1,25
Чистий пар	571	558	455	650	511	640	64,8	11,4	-0,18	-1,25
Переліг	657	656	607	712	641	673	35,4	5,39	0,04	-0,57
CH₄, ppm										
*Повна з.г.м.	142	141	28,20	321	95,0	183	56,4	39,7	0,81	0,96
Чистий пар	139	151	85,0	193,0	107,0	165,0	34,4	24,7	-0,18	-1,26
Переліг	87,4	92,0	74,0	102,0	76,0	95,0	10,7	12,3	-0,16	-1,87
CO₂ до CH₄										
*Повна з.г.м.	4,91	4,19	1,98	17,4	2,85	6,70	2,55	51,9	1,35	3,11
Чистий пар	4,37	4,13	2,51	6,41	3,29	5,38	1,26	28,9	0,34	-1,11
Переліг	7,62	7,57	5,95	8,93	7,32	8,43	1,03	13,5	-0,42	-0,79

Примітка: *Повна з.г.м. – повна загальна модель

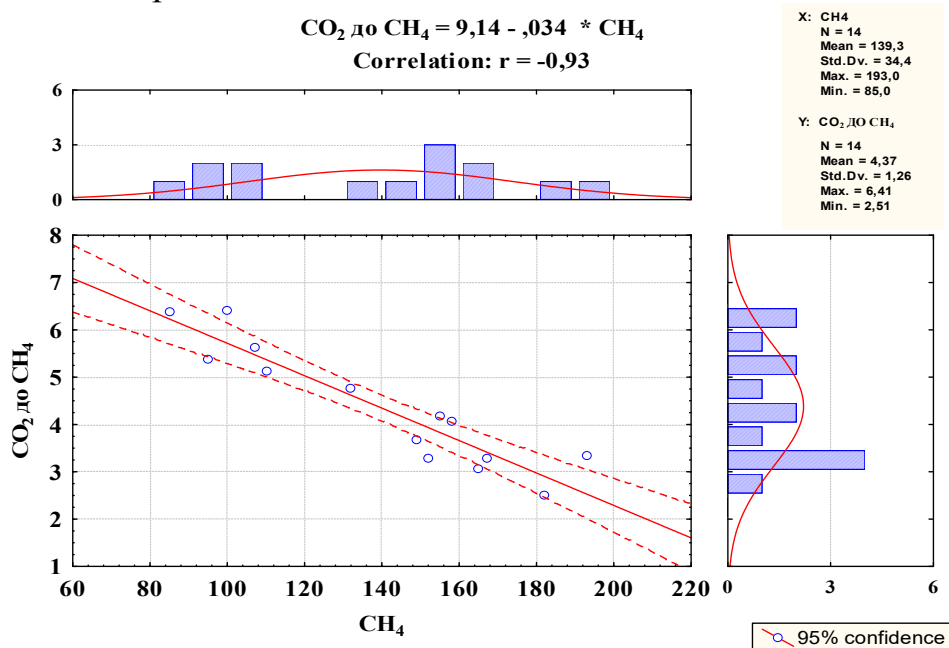
Амплітудний розмах за утримання чистого пару становив $\Delta_a=108$ ppm, що нижче порівняно з оранкою, поверхневим обробітком та

системою No-tilly 2,58, 2,31 та 2,62 рази відповідно, але вище відносно утримання перелогу у 3,86 рази. Нормований розмах за 50 % рівнем значимості за утримання чистого пару становив 58 ppm, що нижче відносно оранки, поверхневого обробітку та системи No-till в 1,64, 1,41 та 1,59 рази відповідно, але вище порівняно з утриманням перелогу у 3,05 рази. Нормований розмах за 10 % рівнем значимості за утримання чистого пару становив 87 ppm, що нижче за значень по обробітках в 1,37–1,69 рази, але вище відносно утримання перелогу в 3,10 рази. Коефіцієнт варіації концентрації CH_4 у випадку утримання чистого пару становив 24,7 %, що нижче порівняно з варіантами обробітків в 1,64–1,97 рази, а відносно утримання перелогу коефіцієнт варіації був вищим у 2 рази. Коефіцієнти асиметрії розподілу значень концентрації CH_4 за утримання чорного пару та перелогу були меншими за $A_s < 0,25$, але мали від'ємний знак (лівостороння асиметрія), що відповідає низькому рівню, тоді як за різних систем обробітку асиметрія була правосторонньою: за оранки – середнього рівня ($A_s > 0,25$), а за поверхневого обробітку та системи No-till середнього рівня ($A_s < 0,25$) та високого рівня ($A_s > 0,25$).

За коефіцієнтом ексцесу за утримання чистого пару та перелогу був характерний добре виражений плоско вершинний розподіл, тоді як за обробітків був добре виражений гостровершинний розподіл. За оранки розподіл найбільшою мірою був наближений до нормального. За утримання чистого пару середнє співвідношення CO_2 до CH_4 становило 4,37 до 1, що менше в 1,12–1,15 рази порівняно з варіантами обробітку чорнозему, але за утримання перелогу співвідношення CO_2 до CH_4 було вищим в 1,74 рази (чистий пар) та в 1,52–1,56 рази за різних способів обробітку.

Розмах співвідношення у вибірці за утримання чистого пару становив 3,9 до 1, тоді як за різних обробітків розмах співвідношення зростав у 2 рази за оранки, 1,8 рази – за поверхневого обробітку та у 3,3 рази – за системи No-till. За утримання перелогу розмах співвідношення CO_2 до CH_4 становив 2,98 до 1, а мінімальне значення інтервалу співвідношення було вищим відносно значень по обробітках у середньому в 2,8 рази. За аналогічною закономірністю формується нормований розмах зміни співвідношення CO_2 до CH_4 за 50 % рівнем значимості: за утримання чистого пару інтервал співвідношення становив $\Delta_n = 2,09$ проти $\Delta_n = 1,11$ за перелогу, тоді як за обробітків значення Δ_n зростало у середньому в 1,95 рази.

Чистий пар



Переліг

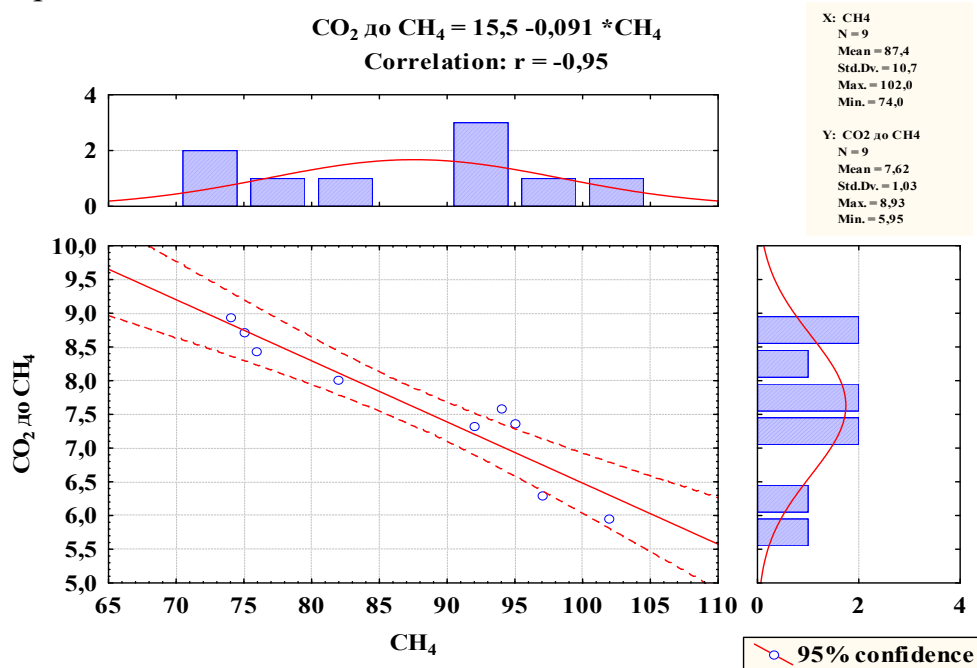


Рис. 17 – Графічний аналіз залежності між концентрацією CH_4 (ppm) та співвідношенням концентрації CO_2 до CH_4

При нормуванні за 10 % рівнем значимості зміна співвідношення становила: $\Delta_H=3,32$ (чистий пар), $\Delta_H=2,98$ (переліг) та $\Delta_H=5,87$ (у середньому по обробітках), що в 1,77 та 1,97 рази вище, ніж за чистого пару та перелогу. За утримання чистого пару коефіцієнт варіації співвідношення CO_2 до CH_4 становив 28,9 %, а за утримання перелогу був у 2,14 рази меншим. Відносно способів обробітку коефіцієнт

варіації за утримання чистого пару та перелогу знижувався у середньому в 1,70 та 3,6 рази відповідно. Асиметрія за різних обробітків та утримання чистого пару була правосторонньою за оранки, поверхневого обробітку та чистого пару зі значним зміщенням, а за системи No-till було надмірне зміщення. За утримання перелогу асиметрія була лівосторонньою зі значним зміщенням. Експес розподілу за утримання чистого пару, оранки, поверхневого обробітку та перелогу був плосковершинним, а за системи No-till розподіл був гостро вершинним.

Додаток А

Таблиця 1А - Орієнтовний газовий склад атмосферного повітря

Найменування газу	% об'єму	ppm
Азот	78,0796	780796
Кисень	20,9469	209469
Аргон	0,930	9300
Вуглекислий	0,0408	408
Неон	0,0018	18
Гелій	0,00052	5,2
Метан	0,00018	1,8
Криптон	0,00011	1,1
Водень	0,000055	0,55
Інші	0,000035	0,35
Разом	100,00	1 000 000

Примітка: ppm – мільйонна об'ємна частка – одиниця вимірювання якихось відносних величин, дорівнює $1 \cdot 10^{-6}$ від базового показника. Позначається: млн.⁻¹.

Співвідношення:

$$1 \text{ млн.}^{-1} = 0,001\% = 0,0001\% = 0,000001 = 10^{-6}$$

$$1 \text{ млн.}^{-1} = 1 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ об.}\% \text{ або } 1\% = 10\,000 \text{ ppm}$$

$$1\% = 1\,000 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppb (partsperbillion)} = 10^{-9} = 1 \text{ частина на мільярд [25].}$$

Нормальні умови* (скорочено **н. у.**) - значення тиску й температури, для яких заведено приводити результати фізичних і хімічних експериментів з метою спрощення порівняння між ними. У різних галузях техніки існують свої окремі визначення нормальних умов експлуатації (випробувань) виробів.

Так, наприклад, NIST (Національний інститут стандартів і технології США) використовує температуру 20°C (293,15 K, 68°F) і абсолютний тиск 1 атм (14,696 psi, 101,325 кПа). Цей стандарт також називають нормальною температурою і тиском (скорочено NTP).

Примітка: * - https://uk.wikipedia.org/wiki/Нормальні_умови

Додаток Б

Таблиця 1Б - Коефіцієнти перерахунку розмірності концентрації (К) для забруднювальних газів для нормальних умов (н. у.) згідно стандарту NIST (США), 20⁰С та 101,3 кПа (760 мм. рт. ст.)

Газ		г/моль	1 ppm = мг/м ³	1 мг/м ³ = ppm
назва	хімічна формула			
діоксид сірки	<i>SO₂</i>	64	2,660	0,376
озон	<i>O₃</i>	48	2,016	0,496
метилмеркаптан	<i>CH₃SH</i>	48	2,000	0,500
діоксид азоту	<i>NO₂</i>	46	1,908	0,524
діоксид вуглецю	<i>CO₂</i>	44	1,830	0,546
закис азоту	<i>N₂O</i>	44	1,799	0,556
сірководень	<i>H₂S</i>	34	1,420	0,704
оксид азоту	<i>NO</i>	30	1,245	0,803
оксид вуглецю	<i>CO</i>	28	1,160	0,862
аміак	<i>NH₃</i>	17	0,710	1,408
метан	<i>CH₄</i>	16	0,665	1,504
кисень	<i>O₂</i>	32	0,664	1,506

Таблиця 2Б - Коефіцієнти перерахунку розмірності концентрації (К) для найпоширеніших забруднювальних речовин тваринницьких приміщень для нормальних умов (н. у.) згідно стандарту NIST (США), 20⁰С та 101,3 кПа (760 мм. рт. ст.)

<i>CO₂</i>	1 ppm =	1,83 мг/м ³
<i>H₂S</i>	1 ppm =	1,42 мг/м ³
<i>NH₃</i>	1 ppm =	0,71 мг/м ³
<i>CH₄</i>	1 ppm =	0,67 мг/м ³
<i>PM₁₋₁₀</i>	1 мкг/м ³ =	0,001 мг/м ³

Список використаних джерел

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» зі змінами 2023 рік №2707-ХІІ від 16 жовтня 1992.
2. Закон України «Про Про Національний реєстр викидів та перенесення забруднювачів» № 2614-ІХ від 20 вересня 2022 року.
3. Гігієнічні регламенти вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.01.2020р.№52, зареєстровані у Міністерстві юстиції України від 10.02.2020 №157/34440.
4. Типова методика визначення питомих викидів від основних виробництв по галузях промисловості. Основні положення. Київ: Мінекоресурсів України, 2000.
5. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами (2004). УНЦТЕ. Донецьк Том III.
6. Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства (2001) Київ, Мінекоресурсів України. 2001.
7. Іщенко В. А., Петрук В. Г. (2010). Високочутливі засоби контролю малих концентрацій газів: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 138 с.
8. Небилиця М.С., Бойко О.В., Онищенко Р.О., Ващенко О.В. (2023). Аналізатор повітряного середовища електронний. Патент на винахід 127047 Україна: МПК G01N 27/416 (2006.01), G01N 27/27 (2006.01), G01N 19/10 (2006.01). № а 2017 12586; заявл. 18.12.2017; опубл. 29.03.2023, Бюл. № 13.
9. Інструкція з експлуатації ЧДСБ.415021.001 ІЕ. Аналізатор повітряного середовища електронний моно-блоковий (АПСЕМ). Черкаси: Черкаська ДСБ НААН. 2021. 25 с.
10. Бойко О.В., Гончар О.Ф., Гавриш О.М., Небилиця М.С., Осокіна Т.Г. (2021). Визначення обсягу та складу викидів забруднюючих речовин від об'єктів тваринництва. Науковий збірник «ІнтерКонф», (83): з матеріалами 4-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Експериментально-теоретичні дослідження в сучасній науці» (4-5 листопада 2021 р.). Кишинів, Молдова: Гіперіон Едитура, 2021. С. 245-253.
11. Небилиця М.С., Бойко О.В., Осокіна Т.Г. (2023). Визначення емісії забруднюючих речовин з крільчатника в атмосферне повітря залежно від дії деяких паратипових факторів. Інтернет публікація матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. «Кролівництво і хутрове звірівництво: проблеми, перспективи та інновації». 2023. С.78-81. DOI:<https://doi.org/10.31073/abg.65.03>.
12. Bellarby J., Foereid B., Hastings A. F. S. J., & Smith, P. (2008). Climate impacts of agriculture and mitigation potential. *Cool Farming*. Amsterdam, Netherlands: Greenpeace International, 2008. 44 p.
13. Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales M. & Haan, C. (2006) Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 2006.
14. Houghton J.T., Meiro F.L.G., Callander B. A., Harris N., Kattenburg A. & Maskell K. (1995). Climate Change 1995: The Science of Climate Change, June 1996 Bibcode: 1996clch.book.

15. Сагло О.Ф., Фоломєєв В.З. (2005). Дослідження мікроклімату в приміщеннях для утримання свиней. Зб. Сучасні методики досліджень у свинарстві. Полтава: РВВ ПДАА, 2005. С. 200-204.
16. Godbout S., Pelletier F., Larouche J.P., Belzile M., Feddes J.J.R., Fournel S., Lemay S.P. & Palacios J.H. (2012). Greenhouse Gas Emissions Non-Cattle Confinement Buildings: Monitoring, Emission Factors and Mitigation, Greenhouse Gases - Emission, Measurement and Management, Dr Guoxiang Liu (Ed.), ISBN: 978-953-51-0323-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/greenhouse-gases-emissionmeasurement-and-management/greenhouse-gas-emissions-from-non-cattle-confined-buildings-monitoringemission-factor-and-mitigatio>.
17. Nicholas M. Holden, Mary Leigh Wolfe, Jactone Arogo Ogejo, & Enda J. (2022). Measurement of Gaseous Emissions from Animal Housing. Cummins is licensed CC BY 4.0. Last updated Oct 26, 2022. Original source: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/93254>.
18. Philippe, F.X., Laitat, M., Wavreille, J., Nicks, B. & Cabaraux, J.F. (2013). Ammonia emissions associated with slatted floor and bedded floor systems for fattening pigs and gestating sows. International symposium on Emission of gas and dust from Livestock (EMILI 2012) June 10-13, 2012, in Saint-Malo, France. P. 96-98.
19. ДБН В.2.2.1-95. Будинки та споруди. Будинки та споруди для тваринництва. Чинні від 1995-01-02. (1995). Київ: Держкоммістобудування України, 38.
20. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, невеликі сільські господарства). ВНТП-АПК 02.05. Чинні від 2006-01-01. (2006). Міністерство аграрної політики України. Київ, 98.
21. Небилиця М.С., Бойко О. В., Осокіна Т.Г. (2022). Шляхи зменшення впливу об'єктів тваринництва на довкілля. *Агроекологічний журнал*. №1, 2022. С. 13-22.
22. Nebylytsia M., Boyko O., Osokina T. & Usenko V. (2022). Determination of the emission of pollutant substances from the flying house to the atmospheric air depending on the effect of some paratypical factors. ЗНП Ефективне кролівництво і звірівництво. 2022. Вип. 8. С. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.37617/2708-0617.2022.8>.
23. Небилиця М.С., Бойко О. В., Осокіна Т.Г. (2023). Визначення емісії забруднюючих речовин з крільчатника в атмосферне повітря залежно від дії деяких паратипових факторів (2023). Інтернетпублікація Матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Кролівництво і хутрове звірівництво: проблеми, перспективи та інновації», 24 березня 2023 року. С. 78-81. DOI: <https://doi.org/10.31073/abg.65.03>.
24. Трофименко П.І., Іванік О.М., Трофименко Н. В. (2019). Методологія моніторингу CO₂ у системі «грунт – атмосфера – рослина» та добовий біологічний колообіг вуглецю ґрунтів агроландшафтів полісся України. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал*. Вип. 110. Частина 2. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2019. С. 231-244. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.30>
25. Опейда Й., Швайка О. (2008). Голосарій термінів з хімії; Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет, Дон.: Вебер.
26. Ролстон D. (1986). Газовий потік: Методи аналізу ґрунтів. Медісон, Вісконсин: Американське товариство агрономії. 1986.

УДК 636.03:631.4:502/504

**Методика
визначення показників емісії забруднювальних речовин від
сільськогосподарських об'єктів і агроландшафтів методом
безперервної автоматичної реєстрації**

Наукове видання

**Олександр БОЙКО
Микола НЕБИЛИЦЯ
Олександр ДЕМИДЕНКО
Олександр ГАВРИШ
Олексій ГОНЧАР
Тетяна ОСОКІНА**

Автори будуть вдячні за відгуки, які можна надіслати
за адресою:

Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН,
вул. Пастерівська, 76, м. Черкаси, 18007
e-mail: bioresurs.ck@ukr.net

Підписано до друку 27.06.2024. Формат 60x84 ¹/₁₆
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Наклад 300 прим. Замовлення № 20240007.
Оригінал-макет виконано в ЧДСБ НААН
18036 м. Черкаси, вул. Пастерівська, 76

Видання та друк
Чорнобаївське комунальне поліграфічне підприємство
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
Серія ДК № 3791 від 27.05.2010 року
Друк Чорнобаївське комунальне поліграфічне підприємство
Україна, 19900, смт. Чорнобай, вул. Центральна, 211
Тел. (04739) 2-26-42; E-mail: printh1932@urk.net
URL: www.chkpp.pp.ua