

МОБІЛЬНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИКИДІВ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ З ҐРУНТУ

Коваленко Юрій Сергійович

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-1248-6311

yuriy.kovalenko1981@gmail.com

Шелест Микола Сергійович

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-5722-8944

koladj1992@gmail.com

Рапута Вадим Валерійович

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-1016-1601

V.raputa89@gmail.com

Панкова Оксана Володимирівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

ORCID: 0000-0003-2866-1858

pankova_oksana@ukr.net

Щербина Тетяна Володимирівна

кандидат економічних наук, доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-5978-3255

t.shcherbvna@uabs.sumdu.edu.ua

Зубко Владислав Миколайович

доктор технічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-2426-2772

zubkovladislav@ukr.net

Ґрунти є головним наземним резервуаром органічного вуглецю (CO). Вивільнення двоокису вуглецю (CO₂) у процесі дихання ґрунту, в основному пов'язане з розкладанням органічної речовини в ґрунті, є другим за величиною компонентом глобального вуглецевого циклу і може відігравати важливу роль у зміні клімату. Залежно від сільськогосподарської практики управління ґрунтом ґрунту можуть бути важливими джерелами або поглиначами атмосферного вуглецю з відповідними наслідками та наслідками у глобальному масштабі.

Встановлено, що виділення вуглекислого газу (CO₂) при диханні ґрунту процеси, пов'язані з життєдіяльністю біологічних організмів в ґрунтах є другим за величиною компонентом глобального циклу вуглецю.

Залежно від технологій обробки ґрунту, які використовують в аграрному виробництві, ґрунти можуть бути важливим джерелами або поглиначами атмосферного вуглецю, що може бути інструментом корегування викидів з ґрунту. Наприклад, технології Mini-Till, які перебивають рештки і заробляють їх на мінімальну глибину мають негативний вплив на рівень викидів CO₂ в навколишнє середовище.

No-Till технології менше працюють з рослинними рештками і тому в навколишнє середовище менше викидів CO₂.

Обмін CO₂ між орними ґрунтами та атмосферою — лише один із аспектів складності вуглецевого бюджету агроєкосистеми. Тим не менш, необхідні точні вимірювання викидів CO₂, щоб оцінити, чи є метод управління рослинництвом кращим, ніж інший, у зниженні викидів CO₂ з ґрунту.

Для оцінки обміну використовується метод статичної камери, який буде спрямований на дослідження потоків CO₂ із оброблюваного ґрунту у зоні інтенсивного землеробства, наприклад, на півдні України. більшість вчених використовують таку умовну одиницю для виміру викидів CO₂ як ppm/хв. Вимірювання потоків CO₂ у ґрунті будуть проведені на одному з полів соняшника, керованих з використанням різних методів обробки ґрунту, та представлені для отримання параметрів для моделювання обміну CO₂ між ґрунтом та атмосферою.

Розроблений прилад має широкий функціонал застосування. Він може бути використаний, як для дрібних досліджень у межах конкретного господарства. Так і використаний для участі у глобальній програмі Carbon Farming від Bayer, яка включає Лабораторію вуглецевого землеробства, Цифрове землеробство та Центр декарбонізації. В сучасних умовах війни екологічні показники в Україні мають критично низькі значення і зменшення тиску кожного параметра на навколишнє середовище вплине – задача кожного науковця.

Ці дослідження проводились спільно з компанією Lozova Machinery (виробник аграрної техніки).

Ключові слова: carbon, the size of the remains, the percentage of earnings, the working body of the agromachine.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.3.5>

Вступ. В останні роки проблема забруднення атмосфери викидами CO₂ постає все більш гостро. Світові лідери все частіше замислюються про забруднення атмосфери двоокисом вуглецем та іншими парниковими газами. Так, на Ехро 2020 було створено декілька сценаріїв для зменшення забруднення (*Ехро 2020 Dubai Sustainability Report 2018*).

Роль сільського господарства у викидах парникових газів широко відома, але недостатньо зрозуміла. Понад чверть світових викидів парникових газів припадає на сільське та лісове господарство та зміни землекористування. Якщо на них активно не звернути увагу, вони збільшуватимуться, оскільки Землю заселятиме більше людей і потреба в їжі продовжує зростати. Глобальне потепління на 1,5°C, звіт Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC) за 2018 рік, чітко пояснює, що потрібен «швидкий і далекосяжний» перехід, щоб обмежити вплив зміни клімату до 1,5 градусів за Цельсієм.

Для цього потрібно залишитися в межах сукупного вуглецевого бюджету в 570 гігатонн вуглекислого газу (GtCO₂), досягти нульових викидів вуглекислого газу в усьому світі приблизно до 2050 року та значно скоротити викиди інших газів, включаючи метан і закис азоту. Обмеження впливу зміни клімату до 1,5 градусів за Цельсієм означало б значні зміни для сільського господарства — від того, як ми ведемо ферму, до того, як ми їмо та витрачаємо їжу. Досягнення цих великих змін може бути більш складним для сільського господарства, ніж для інших секторів. Наприклад, в електроенергетиці вугілля і газ можна замінити вітром, сонцем і акумулюванням.

Слід зауважити, що аграрне виробництво також є джерелом, яке проводить викиди CO₂ у навколишнє середовище. До джерел викидів аграрного виробництва слід віднести галузі тваринництва та рослинництва. Аналізуючи галузь рослинництва встановлено, що ґрунт – основний резервуар органіки, який включає в три рази більше вуглецю ніж біомаса рослин (Fischlin et al., 2007). Обмін CO₂ між орними ґрунтами та атмосферою є лише одним із аспектів складності вуглецевого бюджету агро-екосистеми. Але дуже важливим для формування біологічної маси рослин та формування затратної частини при її вирощуванні (Gerosa et al., 2014).

Встановлено, що виділення вуглекислого газу (CO₂) при диханні ґрунту процеси, пов'язані з життєдіяльністю біологічних організмів в ґрунтах є другим за величиною компонентом глобального циклу вуглецю (Schlesinger & Andrews, 2000; Silva-Olaya et al., 2013).

Залежно від технологій обробітку ґрунту, які використовують в аграрному виробництві, ґрунти можуть

бути важливим джерелами або поглиначами атмосферного вуглецю, що може бути інструментом корегування викидів з ґрунту (Lal, 2004; Lal, 2001; Mosier, 1998). Наприклад, технології Mini-Till, які перебивають рештки і заробляють їх на мінімальну глибину мають негативний вплив на рівень викидів CO₂ в навколишнє середовище (Reicosky, 2003; Reicosky et al., 2008).

No-Till технології менше працюють з рослинними рештками і тому в навколишнє середовище менше викидів CO₂ (Scala et al., 2008; Sanchez et al., 2002; Bayer et al., 2000; Lal & Logan, 1995).

В аграрному виробництві проблема забруднення атмосфери викидами вуглекислого газу також є надзвичайно актуальною, оскільки вуглець – один з головних елементів, що входять до складу гумусу. Інтенсифікація землеробства призводить до того, що кількість родючого шару землі зменшується.

Таким чином, вуглець, що як вже було зазначено міститься у гумусі, вивільняється і при потраплянні в атмосферу та поєднанні з киснем утворює CO₂. Зменшити забруднення можна лише шляхом екологізації аграрного виробництва (Riuter & Kanevskyi, 2020).

Точні вимірювання витоків CO₂ необхідні для оцінки того, чи є методика управління врожаєм кращою, ніж інша у зменшенні викидів CO₂ з ґрунтів (Gerosa et al., 2014).

Ці дослідження проводились спільно з компанією Lozova Machinery (виробник аграрної техніки).

Тому, метою нашого дослідження стали прилади, які допомагають вимірювати викиди CO₂ з ґрунтового середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задля дослідження викидів діоксиду вуглецю в атмосферу вченими з усього світу використовуються різні прилади та методики.

Так, наприклад, в екології у дослідженнях емісії CO₂ в підстилці лісових фітоценозів використовувався камерно-статистичний метод та замкнена система для вимірювання концентрації вуглекислого газу CO650 Plant CO₂ Analysis Package K7M 3X9 Qubit Systems inc., Canada (Vyshenska & Rudko, 2018).

Тоді як в агрокультурі здебільш використовують інші прилади і методи. Для прикладу, в досліді з вивчення забруднення CO₂ під різними аграрними рослинами використовували портативний газоаналізатор Testo 535 із інфрачервоним зондом (Siabruk, 2015). А в дослідженнях, що проводились на базі Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН для вимірювання рівня викидів діоксиду вуглецю було використано газоаналізатор K-30 Probe. Цікавим є той факт, що біль-

шість вчених використовують таку умовну одиницю для виміру викидів CO₂ як ppm/хв, тоді як вчені цього Інституту більш схильні до використання інших одиниць. Тому у своїй роботі вони наводили метод Макарова, та навели формулу (формула 1) за допомогою якої ppm/хв можна перетворити у мг CO₂/м² (Германович, 2018).

$$V_{\text{мг CO}_2 / \text{м}^2} = (i * t * v / S) * M_{\text{CO}_2} / NA, \quad (1)$$

де **V мг CO₂/м²** – швидкість виділення CO₂;
i - інтенсивність виділення CO₂ у ppm/хв;
t – час експозиції (хв);
v – об'єм камери (мл);
S - площа поверхні основи камери (м²);
NA - стала Авогадро;
M CO₂ – молекулярна маса CO₂.

Оцінювання забруднення парниковими газами із ґрунтів агроecosистем можна здійснювати завдяки моделі plant-agrosoil-GHG-model, що є комплексною. Завдяки використанню цієї моделі можна провести безліч експериментів із кількісної оцінки впливу певних факторів довкілля на викиди парникових газів (в т.ч. і CO₂) (Polovyj & Bozhko, 2021).

Постановка завдання. Обґрунтування параметрів мобільного приладу для вимірювання емісії двоокису вуглецю з ґрунту, що дозволить проводити порівняння викидів CO₂ після проведення обробітку ґрунту.

Матеріали і методи дослідження. Оскільки, однією із цілей сталого розвитку є боротьба зі зміною клімату (Sustainable development goals), а двоокис вуглецю - один із видів парникових газів. Було вирішено створити прилад, що дозволяє вимірювати викиди CO₂ після проведення будь-яких технологічних операцій. Чому ми вважаємо, що проведення вимірів допоможе зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу? Та тому, що після проведення вимірювань, досліджень та певного аналізу можна буде запропонувати альтернативний тип обробітку ґрунту (з меншими викидами CO₂), але при цьому зберегти технологічну лінію обробки.

З цією метою розроблений мобільний прилад для вимірювання інтенсивності викидів CO₂ у навколишнє середовище (Рисунок 1 та 2).

Конструктивні особливості, а саме, його портативність, можливість швидкого монтажу та демонтажу, мінімізація впливу навколишніх факторів на інтенсивність викидів CO₂, можливість запису інформації та передачі



Рис. 1. Загальний вигляд мобільного приладу для виміру інтенсивності викидів CO₂ з ґрунту.



Рис. 2. Загальний вигляд блоку-аналізатора для виміру інтенсивності викидів CO₂ з ґрунту.

її на віддалі робить його унікальним у використанні. Прилад складається з камери-накопичувача (її об'єм дорівнює 16,5 л), яка ізольована від впливу навколишнього середовища. Блока аналізатора, до складу якого входить інфрачервоний датчик-аналізатор рівня CO₂, датчика температури та вологості повітря. В блок-аналізатор вмонтовано Bluetooth, карта пам'яті, слот для сім-карти мобільного оператора та портативні елементи живлення. Назовні встановлений датчик температури вологості повітря також. Для ефективності аналізу прилад укомплектовано щільним покритвом.

Мобільний пристрій, що дозволяє вимірювати рівень викидів CO₂ із ґрунту складається із таких компонентів (Табл. 1):

Робота приладу. Після проведення обробітку поверхня ґрунту накривається щільним покритвом. Це не дає інтенсивно випаровуватись CO₂, перегріватись ґрунту, і вивіюватись CO₂ з ґрунту вітром. Паралельно з цим, є можливість проводити аналіз якості виконання механізованих технологічних операцій: ступінь подрібнення рослинних решток, інтенсивність перемішування решток з ґрунтом, рівномірність обробітку ґрунту по глибині, вирівняність поверхні поля. Ці додаткові параметри слугують обґрунтуванням використання тієї чи іншої машин в технології поверхневого обробітку ґрунту та вплив машини на навколишнє середовище.

В центр покритву встановлюється на ґрунт прилад, накривається ізольованою колбою, яка ізольовується від випаровування з середини газів. Для коректного вимірювання виділення двоокису вуглецю із ґрунту колбу, що

містить датчик MH-Z19 встановлюється так, щоб не було доступу повітря ззовні, для цього її обкопують та при-трамбовують ґрунт навколо неї. Колба має спеціальний шар утеплювача задля забезпечення мікроклімату в ній незалежно від зовнішніх чинників. Об'єм колби 16,5 л, для простішого обчислення отриманих даних. Після встановлення колби відповідно до вимог відбувається вимірювання викидів вуглекислого газу протягом часу, що дослідник обере сам, адже автономність робот пристрою складає до 24 годин.

Висновки. Розроблений прилад має широкий функціонал застосування. Він може бути використаний, як для дрібних досліджень у межах конкретного господарства. Так і використаний для участі у глобальній програмі Carbon Farming від Bayer, яка включає Лабораторію вуглецевого землеробства, Цифрове землеробства та Центр декарбонізації. В сучасних умовах війни екологічні показники в Україні мають критично низькі значення і зменшення тиску кожного параметра на навколишнє середовище вплине – задача кожного науковця.

Подяка (Acknowledgment): Ми вдячні чеській урядовій підтримці, наданій Міністерством закордонних справ Чеської Республіки, яка дозволила розпочати цю наукову співпрацю в рамках проекту «Підвищення потенціалу аспірантів для якісних досліджень в Україні» (We are thankful to the Czech government support provided by the Ministry of Foreign Affairs of the Czech Republic, which allowed this scientific cooperation to start within the project "Enhancement of the PhD Students Potential For Qualitative Research In Ukraine").

Таблиця 1

Перелік компонентів мобільного CO₂-метра

№ з/п	Назва модулю	Функція модулю
1.	Arduino nano	Мікроконтролер, що дозволяє зібрати дані із датчиків, сенсорів та модулів. Опрацьовує, зберігає і передає дані на передатчики.
2.	MH-Z19	Датчик, що дозволяє визначити рівень CO ₂ .
3.	GY-21	Використовується для визначення рівня вологості повітря, а також температури у колбі, де вимірюють рівень двоокису вуглецю
4.	DHT-21	Використовується для вимірювання вологості повітря і температури навколишнього середовища.
5.	SIM800L	GSM-модуль для передачі інформації за запитом через СМС чи Інтернет.
6.	DS3232	Модуль-годинник, що відповідає за синхронізацію часу.
7.	HC-05	Bluetooth-модуль, що дозволяє отримувати інформацію про рівень вуглекислого газу безпосередньо біля колби.

Бібліографічні посилання:

1. Sanchez M. L., Ozores M. I., Colle R. et al. (2002). Soil CO₂ fluxes in cereal land use of the Spanish plateau: influence of conventional and reduced tillage practices. *Chemosphere*, vol. 47, no. 8, pp. 837–844.
2. Bayer C., Mielniczuk J., Amado T. J. C., Martin-Neto L., and Fernandes S. V. (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, vol. 54, no. 1-2, pp. 101–109.
3. Expo 2020 Dubai Sustainability Report 2018. (2021). Dubai, www.expo2020dubai.com/-/mepdia/expo2020/sustainability/expo2020-sustainability-report-2018-en.pdf.
4. Fischlin A., Midgley G. F., Price J. et al. (2007). Ecosystems, their properties, goods, and services. in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, and C. E. Hanson, Eds., pp. 211– 272, Cambridge University Press, Cambridge, UK,

5. Gerosa G., Finco A., Boschetti F., Brenna S., and Marzuoli R. (2014). Measurements of Soil Carbon Dioxide Emissions from Two Maize Agroecosystems at Harvest under Different Tillage Conditions., *Scientific World Journal*, Hindawi Publishing Corporation. Volume 2014, Article ID 141345, 12 p.
6. Hermanovych O. (2018). Emisiia dioksydu karbonu gruntom za riznykh system udobrennia i vapnuvannia v ahrobiehotsenozakh opilla. [Emission of carbon dioxide through soil under different fertilization and liming systems in agrobiocenoses of opilla] *Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata silskohospodarskykh nauk.* (in Ukrainian).
7. La Scala N., Bolonhezi D., and Pereira G. (2006). Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in Southern Brazil," *Soil and Tillage Research*, vol. 91, no. 1-2, pp. 244–248.
8. Lal R. (2001). World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy*, vol. 71, pp. 145–191.
9. Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change," *Geoderma*, vol. 123, no. 1-2, pp. 1–22.
10. Lal R. and Logan T. (1995) Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. *in Soil Management and Greenhouse Effect*, pp. 293–307.
11. Mosier A. R. (1998). Soil processes and global change. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 27, no. 3, pp. 221–229.
12. Polovyi A., Bozhko L. (2021). Modeliuvannia dynamiky emisiiiparnykovykh haziv (CO₂, N₂O) iz hruntiv ahroekosystem [Modeling the dynamics of emissions of greenhouse gases (CO₂, N₂O) from the soils of agroecosystems]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetuimeni V.N. Karazina. Seriia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»*, vol. 54, pp. 329-344. (in Ukrainian).
13. Reicosky D. (2003). Tillage-Induced CO₂ Emissions and Carbon Sequestration: Effect of Secondary Tillage and Compaction. Springer.
14. Reicosky D. C., Gesch R. W., Wagner S. W., Gilbert R. A., Wentz C. D., and Morris D. R. (2008). Tillage and wind effects on soil CO₂ concentrations in muck soils," *Soil and Tillage Research*, vol. 99, no. 2, pp. 221–231.
15. Riuter G., Kanevskyi D. (2020). Silske hospodarstvo: yak peretvoryty ubyvtysiu klimatu na yoho zakhysnyka? [Agriculture: how to turn a climate killer into its protector]. *Deutsche Welle*, 14.10.2020. <https://www.dw.com/uk/silskohospodarstvo-iaak-peretvoryty-ubyvtysiu-klimatu-na-ioho-zakhysnyka/a-55261868>. (in Ukrainian).
16. Schlesinger W. H. and Andrews J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, vol. 48, no. 1, pp. 7–20.
17. Siabruk O. (2015). Udoskonalennia instrumentalnoho metodu kontroliu emisii CO₂ z poverkhni hruntu. [Improvement of the instrumental method of controlling CO₂ emissions from the soil surface]. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*, vol. 84, 2015, pp. 123-128. (in Ukrainian).
18. Silva-Olaya A. M., Cerri C. E. P., Scala N. La Jr., Dias C. T. S., and Cerri C. C. (2013). Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. *Environmental Research Letters*, vol. 8, no. 1, Article ID 015014
19. Sustainable development goals. *UNDP* <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>.
20. Vyshenska I., Rudko M. (2018). Emisiia CO₂ gruntu i pidstylky lisovykh fitotsenoziv riznoho typu [Emission of CO₂ from soil and litter of forest phytocenoses of various types]. *Naukovi zapysky NaUKMA. Biolohiia ta ekolohiia*, vol. 1, pp. 43-47. (in Ukrainian).

Kovalenko Yu. S., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Shelest M. S., Assistant Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Raputa V. V., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Pankova O. V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv, Ukraine

Shcherbyna T. V., Candidate of Economic sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Zubko V. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

A mobile device for measuring carbon dioxide emissions from the soil

Soils are the main terrestrial reservoir of organic carbon (CO). The release of carbon dioxide (CO₂) through soil respiration, mainly due to the decomposition of organic matter in the soil, is the second largest component of the global carbon cycle and may play an important role in climate change. Depending on agricultural soil management practices, soils can be important sources or sinks of atmospheric carbon, with corresponding impacts and consequences on a global scale.

It has been established that the release of carbon dioxide (CO₂) during soil respiration, processes associated with the vital activity of biological organisms in soils, is the second largest component of the global carbon cycle.

Depending on the tillage technologies used in agricultural production, soils can be important sources or sinks of atmospheric carbon, which can be a tool for correcting emissions from the soil. For example, Mini-Till technology, which breaks up the remains and cultivates them to a minimum depth, has a negative impact on the level of CO₂ emissions into the environment.

No-till technologies work less with plant residues and therefore emit less CO₂ into the environment.

The exchange of CO₂ between arable soils and the atmosphere is only one aspect of the complexity of the carbon budget of the agroecosystem. However, accurate measurements of CO₂ emissions are needed to assess whether one crop management method is better than another in reducing CO₂ emissions from the soil.

The static camera method is used to evaluate the exchange, which will be aimed at researching CO₂ flows from cultivated soil in an area of intensive agriculture, for example, in the South of Ukraine. Most scientists use the conventional unit to measure CO₂ emissions as ppm/min Measurements of CO₂ fluxes in the soil will be carried out in one of the sunflower fields

managed using different tillage methods and presented to obtain parameters for modeling the exchange of CO₂ between the soil and the atmosphere.

The developed device has a wide application functionality. It can be used as for small studies within a specific farm. It is also used to participate in Bayer's global Carbon Farming program, which includes the Carbon Farming Laboratory, Digital Farming and the Decarbonization Center. In modern conditions of war, ecological indicators in Ukraine have critically low values, and reducing the pressure of each parameter on the environment will affect it - the task of every scientist.

These studies were carried out jointly with the Lozova Machinery company (manufacturer of agricultural machinery).

Key words: *carbon, the size of the remains, the percentage of earnings, the working body of the agromachine.*