

УДК 502.11:504.7:636

DOI: <https://doi.org/10.31073/abg.67.11>

**ІНТЕНСИВНІСТЬ ГАЗОТВОРЕННЯ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ
ВНАСЛІДОК ДІЯЛЬНОСТІ ТВАРИННИЦЬКИХ ГОСПОДАРСТВ –
ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ ІНДИКАТОР**

О. В. НИКИФОРУК¹, О. М. ЖУКОРСЬКИЙ², Н. П. БОЛТИК³¹Національна академія аграрних наук України (Київ, Україна)²Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця НААН (Чубинське, Україна)³Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН (Тернопіль, Україна)<https://orcid.org/0000-0001-9516-4929> – О. В. Никифорука<https://orcid.org/0000-0001-5381-8517> – О. М. Жукорський<https://orcid.org/0000-0002-7378-7735> – Н. П. Болтик

o_zhukorskiy@ukr.net

За численними експертними оцінками міжнародних організацій і фахівців тваринництва робить свій значний негативний внесок у глобальні кліматичні зміни через емісію парникових газів (ПГ), що утворюються на різних етапах виробництва продукції тваринництва внаслідок різноманітних хімічних та біологічних процесів в організмі тварин та у відходах галузі. Розвиток вітчизняного тваринництва відбувається, в основному, завдяки інтенсифікації виробництва у галузі, проте традиційні способи господарювання та дрібнотоварне виробництво в індивідуальному секторі також мають місце. Оскільки застосування різних технологій у тваринництві по-різному впливає на рівень забруднення довкілля та викиди ПГ, метою досліджень стало вивчення відмінностей в інтенсивності газоутворення ПГ однією утримуваною твариною за індивідуальних особливостей технологій утримання тварин та ведення господарської діяльності. Визначено, проаналізовано та обґрунтовано інтенсивність газотворення та емісії CH_4 і N_2O в типових господарствах з виробництва свинини та виробництва молока однією утримуваною твариною. Встановлено істотну варіацію цього показника залежно від індивідуальних господарсько-технологічних особливостей досліджуваних господарств. Середньозважена середньорічна інтенсивність емісії CH_4 від гною тварин в свинарських господарствах коливалася в межах 0,95–25,71, в скотарському господарстві – 2,74; CH_4 від кишкової ферментації дійних корів – 110,8–148,4; N_2O (пряма) в свинарських господарствах – 0,0–0,106, в скотарському господарстві – 0,229; N_2O (непряма) в свинарських господарствах – 0,071–0,097, в скотарському господарстві – 0,174. Охарактеризовано інтенсивність емісії окремо у кожній статевовіковій групі тварин в структурі стада господарств та середньозважену інтенсивність емісії в господарствах з виробництва свинини залежно від пори року. За результатами досліджень запропоновано застосовувати узагальнений середньорічний показник емісії парникових газів на одну середньозважену утримувану тварину (кг/гол./рік) як індикатор екологічного навантаження тваринницьких господарств на довкілля, що дасть змогу планувати обсяги виробництва продукції із мінімальними екологічними ризиками в контексті зміни клімату.

Ключові слова: парникові гази, метан, геміоксид азоту, свинарство, скотарство

**INTENSITY OF GREENHOUSE GAS FORMATION DUE TO LIVESTOCK FARMING
ACTIVITIES – AS AN ENVIRONMENTAL FACTOR**

O. V. Nykyforuk¹, O. M. Zhukorskiy², N. P. Boltyk³

© О. В. НИКИФОРУК, О. М. ЖУКОРСЬКИЙ, Н. П. БОЛТИК, 2024

¹National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

²Institute of Animal Breeding and Genetics nd. a. M.V. Zubets of NAAS (Chubynske, Ukraine)

³Research Station of the Institute of Veterinary Medicine of NAAS (Ternopil, Ukraine)

According to numerous expert assessments by international organizations and specialists, animal husbandry makes a significant negative contribution to global climate change due to the emission of greenhouse gases (GHG), which are formed at different stages of livestock production as a result of various chemical and biological processes in the body of animals and in livestock waste. The domestic animal husbandry is developing mainly due to the intensification of production in the industry, but traditional farming methods as well as small-scale production in the individual sector also take place. Since the use of various technologies in animal husbandry has different effects on the level of environmental pollution and GHG emissions, the aim of the research was to study the differences in the intensity of GHG gas formation by one animal reared with individual features of animal rearing technologies and business activities. The intensity of gas formation and emission of CH₄ and N₂O in typical farms for pork production and milk production by one animal reared was determined, analyzed and substantiated. A significant variation in this indicator was found depending on the individual economic and technological features of the studied farms. The average weighted annual intensity of CH₄ emission from animal manure in pig farms varied within the range of 0.95–25.71, in cattle farm – 2.74; CH₄ from intestinal fermentation of dairy cows – 110.8–148.4; N₂O (direct) in pig farms – 0.0–0.106, in cattle farm – 0.229; N₂O (indirect) in pig farms – 0.071–0.097, in cattle farm – 0.174. The emission intensity is characterized separately in each age and sex group of animals in the herd structure of farms and the average weighted emission intensity in pork producing farms depending on the season. Based on the research results, it is proposed to use the generalized average annual indicator of greenhouse gas emissions per one average weighted animal reared (kg/head/year) as an indicator of the environmental load of livestock farms on the environment, which will allow planning production volumes with minimal environmental risks in the context of climate change.

Keywords: greenhouse gases, methane, nitrogen hemioxide, pig farming, cattle breeding

Вступ. Діяльність тваринницької галузі супроводжується різноманітними екологічними ризиками локального та глобального масштабів. Серед яких – утворення парникових газів (Herreroa et al, 2011; Llonch et al, 2017; Xiaoming Xu et al, 2021; Mario Herrero et al, 2013; Gerber et al, 2013; Bellarby et al, 2012), що, на думку науковців, сприяє процесам глобального потепління, через їх властивість створювати в атмосфері «парниковий ефект».

За даними ФАО за останнє десятиліття середньорічна температура повітря загалом по усіх регіонах світу зросла більш ніж на 1,0°C (<http://www.fao.org/sustainability/news/news/ru/c/1271604/>). Сільське господарство загалом та галузь тваринництва зокрема суттєво сприяють цим процесам, оскільки на різних етапах технологій виробництва внаслідок хімічних та біологічних процесів відбувається утворення трьох основних ПГ – метану (CH₄), геміоксиду азоту (N₂O) та вуглекислого газу (CO₂). Так, за оцінками ФАО, на тваринництво припадає 14,5% світових антропогенних викидів ПГ (<http://www.fao.org/news/story/en/item/197623/>), а за проведеною переоцінкою та перерахунком орієнтовного внеску тваринницького виробництва в глобальні викиди ПГ, застосовуючи загальноприйняті нині методичні підходи встановлено що мінімальний показник може становити 16,5% (Twine, 2021). В Україні ПГ складають більше 5% від загальних викидів по всіх категоріях та третину викидів (≈ 33%) в структурі сільського господарства України (Ukraine's greenhouse gas inventory 1990–2019. Kyiv 2021).

Сучасний розвиток тваринництва відбувається в основному за рахунок інтенсифікації галузі, проте традиційні способи ведення тваринництва та індивідуальний сектор також мають місце. Застосування різних способів розведення та технологій утримання тварин по різному впливають на рівень забруднення навколишнього середовища загалом та викиди ПГ зокрема. Очевидно, що загальна кількість емісії шкідливих речовин, в т. ч. і ПГ, перебуває в

прямій залежності від кількості поголів'я тварин та утворюваних ними органічних відходів. Тому нарощення виробництва для необхідного забезпечення населення тваринницькою продукцією неодмінно призводитиме і до загострення екологічних проблем. Проте на рівень утворення та потрапляння у навколишнє середовище шкідливих відходів виробництва впливає значний перелік різноманітних чинників-складників технології, що супроводжують виробничий процес виробництва продукції тваринництва.

Так, діяльність підприємств з виробництва свинини в основному супроводжується накопиченням на обмеженій території значної кількості твердих та рідких органічних відходів тварин у відстійниках, вигрібних ямах та буртах, що є сприятливим середовищем для розвитку мікробіоти та інтенсивного газоутворення. Застосовувані у нас технології утримання ВРХ можуть характеризуватися дещо нижчою інтенсивністю, проте причиною утворення парникових газів у скотарстві окрім накопиченої органіки є і фізіологічні особливості жуйних тварин, а саме – будова травної системи. Процес перетравлювання корму в рубці шлунку супроводжується утворенням значної кількості метану. При цьому потреба ВРХ в енергії (кормах) для життєдіяльності дещо відрізняються від потреб інших тварин. Окрім забезпечення фізіологічних потреб організму ці тварини потребують затрат великої кількості енергії для виношування телят, тривалої лактації, моціону і випасання, та інше.

Зарубіжні дослідники застосовують різноманітні підходи щодо оцінки та характеристики шкідливості процесу виробництва продукції тваринництва для глобальних кліматичних змін. В основному такі дослідження зводяться до обліку кількості викидів ПГ в певному регіоні, певною групою ферм чи певною галуззю виробництва (Herrero et al, 2011; Llonch et al, 2017; Xiaoming Xu et al, 2021; Mario Herrero et al, 2013; Gerber et al, 2013; Bellarby et al, 2012; Aguilera et al, 2021; Julie Wolf et al, 2017; Li-zhi et al, 2017; Dick, 2021; Sintori et al, 2019). Так, за оцінками ФАО, глобальні викиди ПГ в CO₂-екв. становлять: у скотарстві – 4,6 Гт, у вівчарстві і козівництві – 475 млн. т, у свинарстві – 668 млн. т, у птахівництві – 606 млн. т (Gerber et al, 2013). За розрахунками Weiss & Leip загальні викиди від сектору тваринництва в 27 країнах ЄС коливається від 623 до 852 млн. т CO₂-екв., при цьому емісія ПГ по видах тварин становить: молочне скотарство – 214, м'ясне скотарство – 182, свинарство – 170, м'ясне птахівництво – 53, дрібна рогата худоба – 22, яєчне птахівництво – 19 млн. т CO₂-екв. (Bellarby et al, 2012).

Відомо про проведені комплексні дослідження систем тваринництва і рослинництва у 31 країні Середземноморського регіону – з метою оцінки абсолютних значень викидів ПГ за детальною сукупною оцінкою різних елементів технологій виробництва продукції (Aguilera et al, 2021). Також відомо про більш детальні дослідження та переоцінку глобальної емісії метану від тваринництва порівняно із оцінкою, проведеною за використання середньозважених коефіцієнтів згідно методичних вказівок Міжурядової групи експертів із змін клімату. Згідно цих досліджень глобальні викиди метану на 11% вищі порівняно із загальноприйнятими (Julie Wolf et al, 2017).

В окремих країнах оцінку емісії ПГ проводили по пріоритетних галузях тваринницького виробництва. Так китайськими науковцями проведено моніторинг викидів ПГ від свинарства та птахівництва за період з 1960 по 2010 рр. з метою оцінки залежності викидів ПГ від зміни інтенсивності діяльності цих галузей (Li-zhi et al, 2017). В Бразилії проведено оцінку впливу різних систем виробництва яловичини на емісію ПГ, досліджено загальні викиди ПГ по основних біомах виробництва та розраховано емісію ПГ на 1 кг приросту живої маси тварин – 13,32 кг CO₂-екв./кг (Dick, 2021). У Греції вагоме місце займає козівництво. Тут досліджено рівень емісії по трьох основних типах ферм – екстенсивних, напівінтенсивних та інтенсивних виробництвах. Річні викиди ПГ екстенсивних господарств становлять 305,576 кг CO₂-екв., напівінтенсивних – 284,120, інтенсивних – 332,797 кг CO₂-екв. При цьому, на одиницю виробленої продукції (молока) – 4,08, 2,04 та 1,82 кг CO₂-екв./кг відповідно (Sintori et al, 2019).

Нами, у попередніх дослідженнях, було проведено оцінку загальних викидів ПГ в окремих господарствах нашої країни за сукупністю впливаючих чинників (Zhukorsky et al, 2017; Nykyforuk, 2014; Zhukorskyi et al, 2015). Так в господарстві з виробництва свинини із середньорічною кількістю поголів'я тварин 1100 гол. сумарні викиди CH_4 становлять 22,38 кг/добу, N_2O – 0,60 кг/добу. А в господарствах з виробництва молока емісія CH_4 залежно від кількості утримуваних тварин коливалася в межах 45,983–240,855 кг/добу, N_2O – 0,252–2,428 кг/добу.

Проте оцінка сукупних викидів ПГ стосовно певної категорії господарств чи регіону носить в основному статистично-інформаційний характер, тому не показує причини та відмінності інтенсивності газотворчих процесів та, відповідно, рівень екологічності тваринницького виробництва. Відомо, що з цією метою часто застосовують показник «вуглецевого сліду», що характеризує кількість емісії ПГ протягом життєвого циклу продукції в CO_2 -еквіваленті на одиницю виробленої продукції. Так у молочному скотарстві цей показник становить 2,6 кг CO_2 -екв./кг молока та 18,2 кг CO_2 -екв./кг м'яса, у м'ясному скотарстві – 67,6 кг CO_2 -екв./кг яловичини, у вівчарстві – 8,4 кг CO_2 -екв./кг молока та 23,4 кг CO_2 -екв./кг м'яса, у козівництві – 5,2 кг CO_2 -екв./кг молока та 23,3 кг CO_2 -екв./кг м'яса, у свинарстві – 6,1 кг CO_2 -екв./кг свинини, у птахівництві – 3,7 кг CO_2 -екв./кг яєць та 5,4 кг CO_2 -екв./кг курятини (Gerber, 2013). В той же час науковцями проведені дослідження щодо інтенсивності емісії ПГ на 100 грам протеїну, наявного у виробленій продукції та на 1000 ккал виробленої продукції (Poore et al, 2018). Так при виробництві яловичини у м'ясному скотарстві ці показники становлять 49,89 кг CO_2 -екв./100 г протеїну та 36,44 кг CO_2 -екв./1000 ккал, яловичини у молочному скотарстві – 16,87 та 12,20, сиру – 10,82 та 6,17, молока – 9,5 та 5,25, свинини – 7,61 та 5,15, курятини – 5,70 та 5,34, яєць – 4,21 та 3,24 відповідно. Для порівняння – на виробництво 100 г протеїну гороху припадає 0,44 кг викидів ПГ (CO_2 -екв.), а на утворення 1000 ккал – 0,28 кг викидів ПГ (CO_2 -екв.).

Таким чином актуальним є пошук наглядних критеріїв оцінки та характеристики шкодочинності впливу тваринницького виробництва на навколишнє середовище в частині емісії ПГ. Для таких цілей нами вважається за доцільне застосування показника-індикатора, величина якого буде залежати від індивідуальних технологічних особливостей ведення виробничо-господарської діяльності тваринницького підприємства та характеризуватиме навантаження різнотипних за технологією і спрямуванням тваринницьких господарств на навколишнє природне середовище в контексті впливу на глобальні зміни клімату. Ним може слугувати показник інтенсивності газотворення ПГ однією твариною.

Тому **метою** досліджень було охарактеризувати відмінності в інтенсивності газоутворення парникових газів однією утримуваною твариною за індивідуальних особливостей технологій утримання тварин та ведення господарської діяльності задля оптимізації прийняття управлінських рішень з екологізації тваринницького виробництва.

Матеріали і методи. Для досліджень обрано типові для умов Лісостепу України господарства з виробництва свинини (С1, С2, С3) та господарства з виробництва молока (М1, М2, М3), що відрізнялися між собою технологіями виробництва, потужністю, системами годівлі тварин, системами управління відходами.

Господарство 1 (С1): сезонно-гурова технологія виробництва свинини; кількість основних свиноматок – 140; годівля – кормами власного вирощування + комбікорми; зберігання відходів – у буртах (сухе) та в ямах-відстійниках (рідота).

Господарство 2 (С2): сезонно-гурова технологія виробництва свинини; кількість основних свиноматок – 200; годівля – кормами власного вирощування + комбікорми; зберігання відходів – у буртах (сухе).

Господарство 3 (С3): потоково-цехова технологія виробництва свинини; кількість основних свиноматок – 4500; годівля – збалансовані комбікорми для кожної групи тварин; зберігання відходів – анаеробні відстійники (рідке).

Господарство 4 (M1): стійлово-пасовищна система утримання ВРХ; утримуване поголів'я – 2343 гол. Всього, в т.ч. 664 дійні корови; годівля – однотипна з повнораціонними кормо сумішками+ випасання; зберігання відходів – у буртах (сухе), частина залишається на пасовищі.

Господарство 5 (M2): стійлово-табїрна та стійлово-прив'язна система утримання ВРХ; 480 дійних корів; годівля – однотипна з повнораціонними кормосумішками; зберігання відходів – у буртах (сухе).

Господарство 6 (M3): стійлово-пасовищна система утримання ВРХ; 430 дійних корів; годівля – однотипна з повнораціонними кормо сумішками + випасання; зберігання відходів – у буртах (сухе), частина залишається на пасовищі.

Джерелом вихідних даних для проведення нами розрахунків всіх досліджуваних показників слугувала щомісячна протягом календарного року виробничо-статистична інформація досліджуваних підприємств щодо: кількості та структури утримуваного стада; способів утримання тварин; раціонів годівлі кожної статевовікової групи тварин у різні кліматичні сезони; технологій видалення, зберігання та утилізації відходів.

Відповідні розрахунки щодо теоретично можливого газотворення двох основних ПГ, що виділяються при поводженні з органічною речовиною (метану (CH_4) та геміоксиду азоту (N_2O)) проводили згідно методичних підходів, запропонованих Міжурядовою групою експертів по зміні клімату (Eggleston et al, 2006).

Так визначальним показником для утворення CH_4 слугує кількість утворення і виділення летких твердих речовин заданою категорією тварин (VS), що в свою чергу визначається спожитою тваринами енергією (GE), необхідною для підтримання належної життєдіяльності.

Темпи викидів сполук азоту (N_{ex}) в основному корелюються рівнем спожитого ($N_{\text{погл.}}$) і засвоєного ($N_{\text{утр.}}$) тваринами протеїну. При цьому відбувається пряма емісія N_2O та емісія інших сполук азоту (NH_3+NO_x), що в подальших хімічних процесах і реакціях слугують джерелом утворення N_2O («непряма емісія»).

Результати. Для виконання поставленої мети досліджень нами проведено розрахунки теоретично можливої інтенсивності газоутворення ПГ за врахування максимально можливої кількості індивідуальних для кожного досліджуваного господарства чинників, залежно від застосовуваної технології. А саме визначено емісію ПГ (г/гол./день) в середньому на одну середньорічну утримувану голову загалом по кожному господарству, а також – залежно від статевовікових груп тварин, та залежно від пори року утримання тварин.

В таблиці 1 наведено результати розрахунків основних показників, що визначають газопродукуючу здатність кожної піддослідної статевовікової групи тварин.

За визначеними показниками (табл. 1) видно, що потреба в енергії (кормах) для підтримання процесів життєдіяльності тварин доволі різна за статевовіковими групами досліджуваних тварин і залежить від віку та господарського призначення цих тварин. Прослідковується і збільшення потреби в протеїні відповідно до підвищеної потреби в енергії (GE), що призводить і до збільшення темпів виділення незасвоєного тваринами протеїну (N_{ex}).

За врахування визначених показників проведено обрахунки теоретично можливих викидів метану та закису азоту в середньому на одну голову утримуваних тварин (рис. 1, рис. 2).

Очевидно, що емісія ПГ на одну утримувану тварину різна по всіх досліджуваних господарствах. Тобто загальні по підприємству викиди ПГ не перебувають в прямій залежності від кількості поголів'я тварин, а істотно залежать від господарсько-технологічних особливостей підприємств.

1. Рівень газопродукуючих показників піддослідних тварин

Господарства	Групи тварин	Газопродукуючі показники		
		GE, МДж/добу	VS, кг/гол./добу	Nex, кг/гол./добу
С1	поросята 2–4 міс.	28,782	0,329	0,02359
	поросята 0–2 міс.	16,605	0,190	0,01280
	відгодівля	59,409	0,680	0,05121
	ремонтні свинки	57,564	0,658	0,05137
	ремонтні кнурці	60,147	0,688	0,05732
	свиноматки перевірочні	86,346	1,437	0,07547
	свиноматки основні	72,693	1,209	0,06928
	кнури перевірочні	64,022	1,065	0,06179
	кнури-плідники	64,022	1,065	0,06179
С2	відгодівля	39,852	0,456	0,03919
	ремонтний молодняк	40,221	0,460	0,03760
	племпродаж	42,435	0,485	0,04276
	поросята 1,5–4 міс.	20,295	0,232	0,02624
	поросята 0–1,5 міс.	7,380	0,084	0,01290
	свиноматки холості	56,826	0,945	0,05002
	свиноматки другого періоду супоросності	56,273	0,936	0,04919
	свиноматки підсисні	95,940	1,596	0,11590
	кнури-плідники	55,166	0,917	0,07066
С3	поросята 2–4 міс.	31,365	0,359	0,03427
	поросята 0–2 міс.	15,683	0,165	0,01714
	відгодівля	39,206	0,449	0,03803
	ремонтні кнурці	47,048	0,538	0,04570
	ремонтні свинки	47,048	0,538	0,04570
	свиноматки разові	54,889	0,913	0,05331
	основні свиноматки	62,730	1,044	0,06854
	кнури-плідники	54,889	0,913	0,05331
М1	дійні корови	348,125	7,676	0,19075
	бугайці 6–12 міс.	109,476	1,861	0,06160
	бугайці 12–18 міс.	174,602	3,841	0,11760
	бугайці > 18 міс.	203,297	4,473	0,15715
	телиці 6–12 міс.	76,336	1,292	0,06055
	телиці 12–18 міс.	147,560	3,256	0,10115
	телиці > 18 міс.	195,005	4,290	0,13405
	телята < 6 міс.	46,893	0,797	0,03675
М2	дійні корови	319,597	6,240	0,19530
М3	дійні корови	260,247	5,070	0,19705

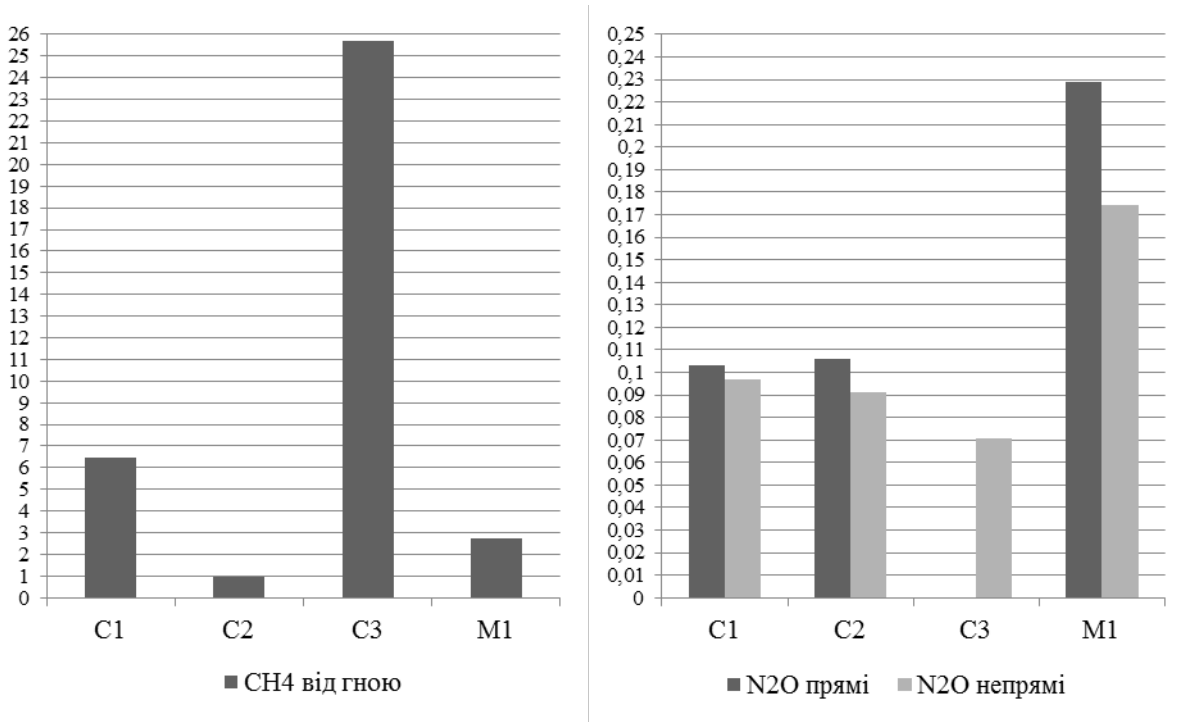


Рис. 1. Рівень інтенсивності емісії парникових газів внаслідок діяльності підприємств з виробництва свинини та виробництва молока, кг/гол./рік

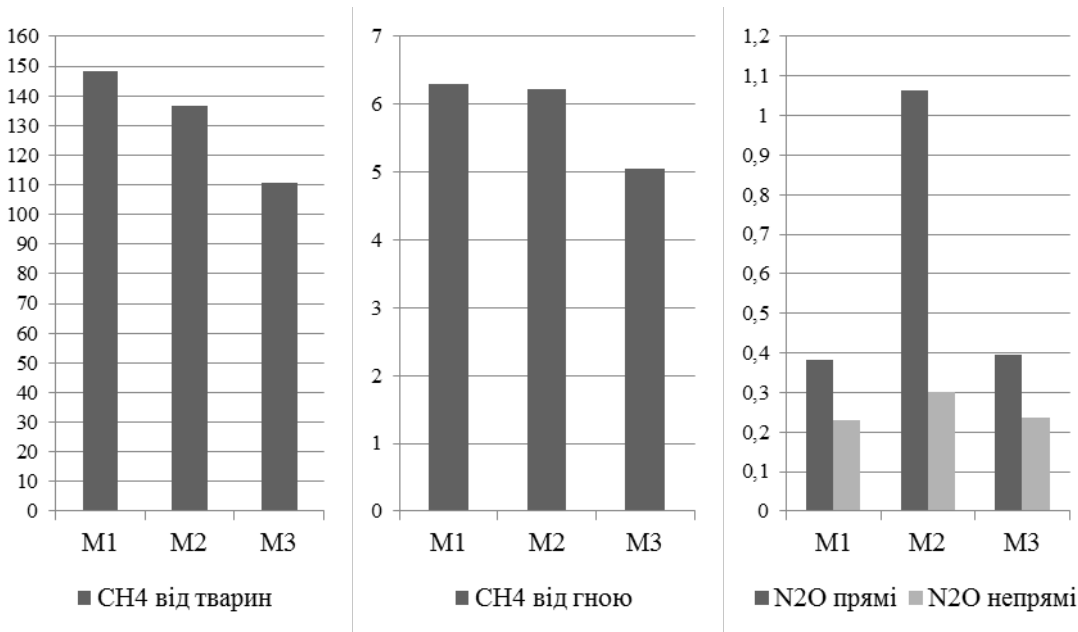


Рис. 2. Рівень інтенсивності емісії парникових газів від дійних корів внаслідок діяльності підприємств з виробництва молока, кг/гол./рік

Проте порівнювати вагові значення кількості викинутих ПГ не зовсім вірно, оскільки CH₄ та N₂O мають різні потенціали глобального потепління (ПГП). ПГП являє собою показник для оцінки відносного вкладу глобального потепління внаслідок атмосферного викиду 1 кг конкретного ПГ в порівнянні з викидом 1 кг вуглекислого газу (Houghton et al, 2001). Якщо метан поглинає теплове випромінювання більш ніж в 20 разів інтенсивніше ніж CO₂, то закис азоту – майже в 300 разів інтенсивніше, що робить його в рази небезпечнішим в питаннях глобального потепління. Тому розраховані вагові значення викидів ПГ від свиней та їх відходів у досліджуваних господарствах доцільно переводити в CO₂-еквівалент (табл. 2).

2. Інтенсивність газотворення та емісії парникових газів від підприємств з виробництва свинини та виробництва молока в CO₂-еквіваленті, кг/гол./рік

Господарства	CH ₄		N ₂ O		ПГ – всього	
	від тварин	від гною	прямі від гною	непрямі від гною	від тварин	від гною
C1	–	148,810	30,488	28,712	–	208,010
C2	–	21,850	31,376	26,936	–	80,162
C3	–	591,330	–	21,016	–	612,346
M1	1663,958	62,997	67,784	51,504	1663,958	182,285

Якщо вагові значення емісії метану і геміоксиду азоту від накопичуваного гною суттєво відрізнялися, то при переведенні в CO₂-еквівалент їхні значення дещо вирівнюються, тобто викиди CH₄ та N₂O від гною приблизно рівнозначні. При цьому ми бачимо, що при зберіганні відходів у сухому вигляді сумарні викидів ПГ на одну утримувану тварину від гною ВРХ (M1) вищі ніж від гною свиней (C2), що ймовірно пов'язано із кількістю виходу відходів від тварини. В той же час у свинарстві різницю інтенсивності емісії від гною можна пояснити різними системами видалення і управління відходами та інтенсивнішим утворенням метану при анаеробному утриманні органіки (C3).

Поголів'я тварин в досліджуваних господарствах різне за структурою і статевіковими групами і, відповідно, для кожної із цих груп тварин передбачена індивідуальна технологія їх утримання та відгодівлі. Тому доцільно було проведення розрахунків викидів ПГ за кожною групою утримуваних тварин (рис. 3, рис. 4).

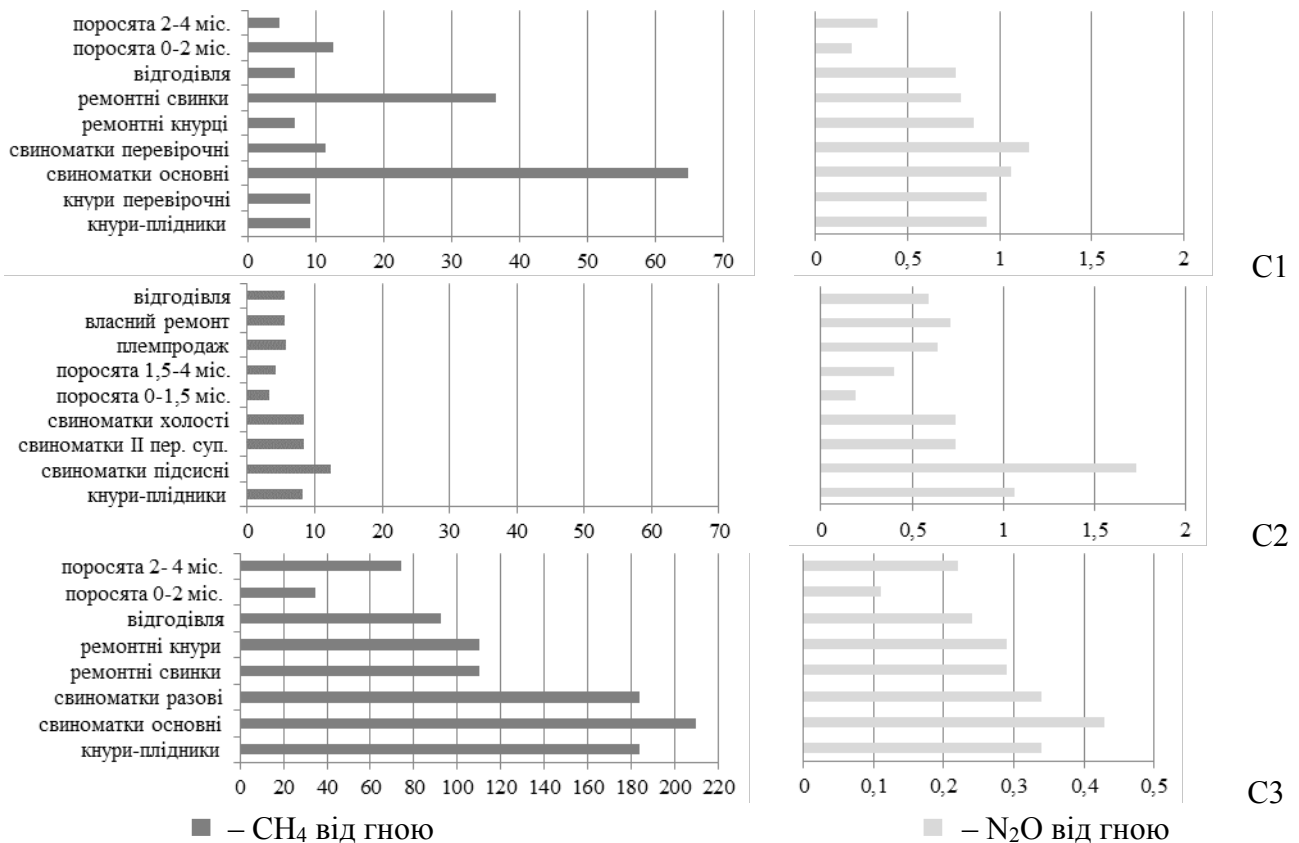


Рис 3. Викиди парникових газів від однієї тварини по групах свиней, г/гол./день

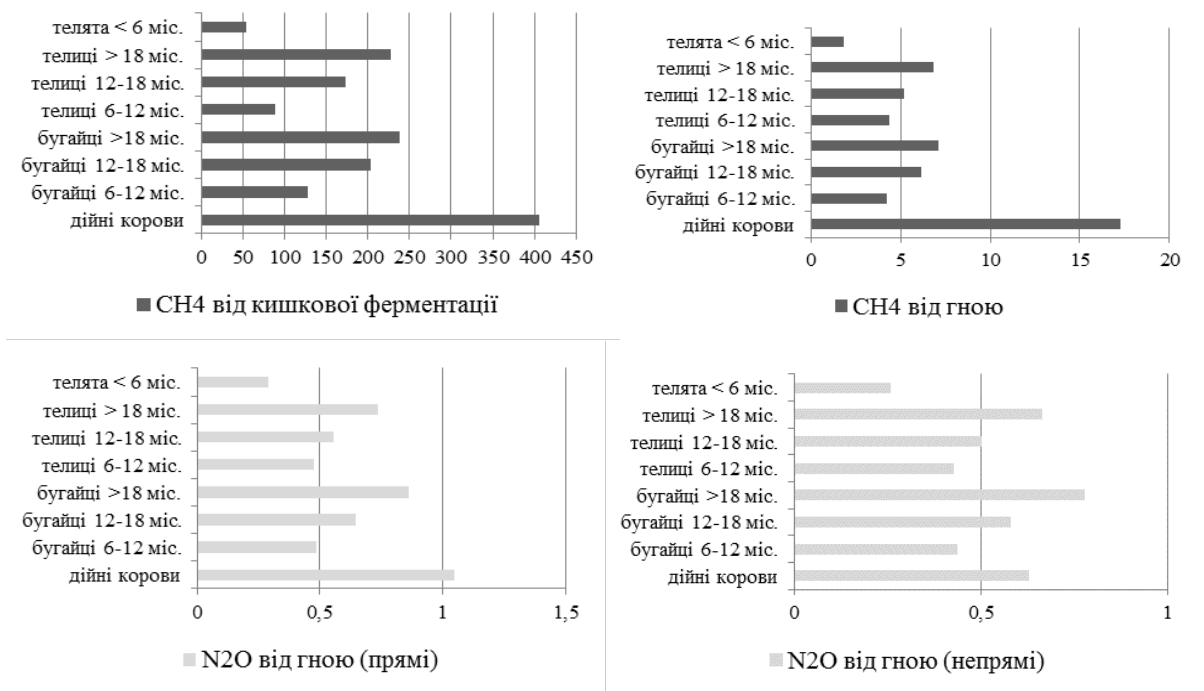


Рис 4. Викиди парникових газів від однієї тварини по групах ВРХ в господарстві М1, г/гол./день

На нашу думку цікавим та доцільним було порівняння інтенсивності газотворення ПГ залежно від пори року, особливо в господарствах, де технологія виробництва продукції однакова протягом року – свинарські господарства. Тому нами було передбачено обрахунок теоретично можливих викидів ПГ у найхолодніший (січень) та найжаркіший (липень) місяці за врахування максимально можливої кількості впливаючих чинників (табл. 3).

3. Інтенсивність викидів парникових газів залежно від пори року, г/гол./день

Досліджувані господарства	Досліджуваний період	CH ₄			N ₂ O			ПГ – всього, CO ₂ -еквівалент	% до середньорічних
		від тварин	від гною	CO ₂ – еквівалент	прямі від гною	непрямі від гною	CO ₂ – еквівалент		
С1	середньорічні	–	17,69	406,87	0,28	0,27	162,8	569,67	100
	в січні	–	44,05	1013,15	0,53	0,50	304,88	1318,03	231,37
	в липні	–	41,04	943,92	0,22	0,20	124,32	1068,24	187,52
С2	середньорічні	–	2,58	59,34	0,29	0,25	159,84	219,18	100
	в січні	–	2,72	62,56	0,29	0,26	162,8	225,36	102,82
	в липні	–	5,15	118,45	0,30	0,25	162,8	281,25	128,32
С3	середньорічні	–	70,44	1620,12	–	0,19	56,24	1676,36	100
	в січні	–	74,68	1717,64	–	0,20	59,2	1776,84	105,99
	в липні	–	87,58	2014,34	–	0,21	62,16	2076,50	123,87

Залежно від особливостей технологій виробництва свинини, що застосовуються в досліджуваних господарствах, в різні пори року відрізнялася структура утримуваного стада за статевовіковими групами та передбачалися відмінності у раціонах годівлі свиней. Всі ці чинники, а також температурний режим повітря впливали на рівень емісії ПГ.

Обговорення. Відомі нам обрахунки викидів парникових газів, за застосовуваною нами методикою та запропонованих нею сталих коефіцієнтів і середньостатистичних даних, в основному носять глобальний масштаб та проводилися для аналізу кількості загальних вики-

дів ПГ галуззю в межах країни або регіону (Gerber et al, 2013; Bellarby et al, 2012; Aguilera et al, 2021; Julie Wolf et al, 2017; Li-zhi et al, 2017; Dick, 2021; Sintori et al, 2019). Попередніми нашими дослідженнями було передбачено розрахунки теоретично можливих сукупних викидів парникових газів від всього поголів'я утримуваних тварин на рівні окремих тваринницьких господарств (Zhukorskyi et al, 2017; Nykyforuk, 2014; Zhukorskyi et al, 2015).

Запропонований нами у цій статті підхід, що передбачав обрахунок індивідуальних по кожному господарству та групі тварин газопродукуючих показників, дав можливість охарактеризувати відмінності в інтенсивності емісії ПГ в розрахунку на одну голову за індивідуальних особливостей технологій утримання тварин та ведення господарської діяльності для прийняття управлінських рішень по екологізації тваринницького виробництва.

За результатами наших досліджень (рис. 1) встановлено, що в категорії «управління відходами» в господарстві С1 (свиноферма), де приблизно 50% відходів зберігається в рідкому вигляді (рідота), інтенсивність викидів CH_4 складає 6,47 кг/гол./рік, в С2 (свиноферма), де весь гній зберігається в буртах у сухому вигляді – 0,95 кг/гол./рік, тоді як в С3 (свиноферма) – 25,71 кг/гол./рік, тут весь гній видаляється самоспливом з використанням води і зберігається у анаеробних відстійниках, при такій системі зберігання відходів – найвищий коефіцієнт перетворення метану з гноєвих мас, особливо в жаркий кліматичний період. При цьому у господарстві М1 (з виробництва молока), де передбачене сухе зберігання відходів інтенсивність газотворення CH_4 складає 2,74 кг/гол./рік, що в три рази вищий ніж в технологічно схожому господарстві з виробництва свинини (С2). Для порівняння – викиди метану від кишкової ферментації ВРХ в господарстві М1 становлять в середньому 72,35 кг/гол./рік.

Середньозважений по Україні коефіцієнт емісії CH_4 в категорії «управління відходами» становить: для молочної ВРХ – 4,04, іншої ВРХ – 1,28, свиней – 2,79 кг/гол./рік (Ukraine's greenhouse gas inventory 1990–2019. Kyiv 2021).

Середньозважені по господарствах викиди N_2O (рис. 1) напряму залежали від виходу гною та вмісту в ньому незасвоєного тваринами азоту, а також способу зберігання відходів. Якщо ж інтенсивність викидів N_2O в перших двох господарствах з виробництва свинини мають приблизно однакові значення: С1 – інтенсивність прямої емісії становив 0,103 кг/гол./рік, інтенсивність непрямой емісії 0,097 кг/гол./рік; С2 – 0,106 кг/гол./рік та 0,091 кг/гол./рік відповідно, то в третьому (С3) пряма емісія відсутня, а інтенсивність непрямой емісії становить 0,071 кг/гол./рік. В цьому випадку система зберігання відходів сприяє скороченню викидів N_2O , який є більш небезпечним у кліматичному відношенні ніж CH_4 . В господарстві з виробництва молока (М1) спостерігаємо значно вищий рівень викидів N_2O в середньому на одну тварину, приблизно в два рази: інтенсивність прямої емісії становить 0,229 кг/гол./рік, непрямой – 0,174 кг/гол./рік, що ймовірно пов'язано із більшою потребою в кормах для годівлі ВРХ.

Середньозважений по Україні коефіцієнт прямої емісії N_2O в категорії «управління відходами» становить: для молочної ВРХ – 0,280, іншої ВРХ – 0,120, свиней – 0,090 кг/гол./рік (Ukraine's greenhouse gas inventory 1990–2019. Kyiv 2021).

В той же час, порівнюючи скотарські господарства за найчисленнішою і господарсько-основною групою утримуваних тварин «дійні корови» (рис. 2), спостерігаємо дещо вищу інтенсивність викидів CH_4 і від кишкової ферментації і від гною в господарствах М1 (148,361 та 6,307 кг/гол./рік відповідно) та М2 (136,424 та 6,226 кг/гол./рік відповідно), що в основному спричинено високою живою масою корів і високими надоями молока що відповідно потребує збільшення споживання валової енергії тваринами. При цьому в господарстві М2, де передбачена стійлова система утримання тварин викиди метану дещо нижчі, оскільки не потрібні затрати енергії на фізичну активність тварин при випасанні. Але технологія утримання тварин в господарстві М2 передбачає накопичення великої кількості відходів в буртах на території господарства, що призводить до значного підвищення коефіцієнтів викидів N_2O , порівняно із пасовищним утриманням в господарствах М1 і М3 – тут приблизно третина органічних відходів залишається на пасовищах і слугує удобренням.

Середньозважений по Україні коефіцієнт емісії CH_4 в категорії «кишкова ферментація» становить: для молочної ВРХ – 111,12, іншої ВРХ – 45,49 кг/гол./рік (Ukraine's greenhouse gas inventory 1990–2019. Kyiv 2021).

На рисунку 3 та рисунку 4 представлено результати розрахунків рівня емісії ПГ по статевіковим групах досліджуваних тварин. Виявлено, що найінтенсивніше викиди як CH_4 так і N_2O відбувається від груп тварин, раціони годівлі яких передбачають більшу потребу у кормі та підвищений вміст в ньому сухої речовини та сирого протеїну, а також нижчий рівень перетравності згодовуваного корму. До таких в основному належать дорослі свині, особливо підсисні свиноматки. Крім того в С1, де передбачені різні способи зберігання гною, спостерігається підвищена емісія CH_4 від груп тварин, відходи від яких зберігалися в рідкому вигляді в ямах-відстійниках – основні свиноматки, ремонтні свинки, поросята віком до 2 міс.

Щодо господарств ВРХ, де передбачене сухе зберігання відходів, різниця в інтенсивності викидів метану в основному залежала від кількості спожитої тваринами енергії, необхідної для забезпечення належної комфортної життєдіяльності та виходу необхідної кількості продукції. Цей показник найвищий для дійних корів, оскільки цій групі тварин необхідна енергія як для підтримання життєдіяльності так і для фізичної активності при випасанні, виношуванні телят, лактації. Утворення та викиди сполук азоту високі у груп тварин, що потребують більшої кількості споживання поживного протеїну – це в основному телиці і бугайці другорічки та дійні корови.

За нашими дослідженнями виявлено істотну різницю у інтенсивності викидів ПГ на підприємствах з виробництва свинини у найхолодніших (січень) і найжаркіший (липень) періоди року (табл. 3). Викиди ПГ в січні місяці в порівнянні із середньорічними збільшуються на 3–132%. Особливо велика відмінність у С1. Тут спостерігається підвищення емісії ПГ від однієї тварини в порівнянні із середньорічними приблизно в 2,3 рази. Це відбувається за рахунок того, що в зимовий період в господарстві утримуються в основному дорослі свині, викиди від яких значно більші ніж від поросят. В той же час в зимовий період розробляються раціони годівлі тварин із дещо вищим вмістом поживних речовин. В господарствах, де раціони годівлі по періодах року незмінні (С2 та С3), кількість викидів ПГ залежить в основному від структури стада свиней і практично не відрізняється від середньорічних. Збільшення відсотку викидів ПГ в липні місяці порівняно із середньорічними (24–88%) в основному пов'язано з тим, що в найжаркіший період року спостерігається найвищий коефіцієнт перетворення метану від гноевих мас, особливо від систем зберігання відходів в рідкому вигляді.

Таким чином, узагальнюючи отримані нами результати показують, що інтенсивність газотворення і емісії ПГ однією утримуваною твариною є вищою від господарств, де практикується використання води при видаленні відходів та зберігання їх у рідкому вигляді (С3, С1). В анаеробних умовах інтенсивніше утворюється CH_4 . Але при цьому знижується інтенсивність утворення N_2O , який значно краще поглинає інфрачервоне випромінювання і має вищий потенціал глобального потепління. В той же час порівнюючи схожі за технологіями утримання і зберігання відходів (сухе) господарство з виробництва свинини (С2) та господарство з виробництва молока (М1) спостерігаємо значно вищу, більш ніж у 20 разів, інтенсивність газотворення в молочному господарстві (М1) за рахунок кишкової ферментації ВРХ.

Аналіз отриманих розрахунків ймовірних викидів ПГ від дійних корів свідчить про те, що інтенсивність їх викидів в значній мірі коригується продуктивністю утримуваних корів та способом утримання тварин і зберігання відходів. Утримання корів у стійлах і на вигульних майданчиках впливає на збільшення частки прямих викидів N_2O , але зменшення викидів CH_4 і непрямих викидів N_2O від гною що залишається на майданчиках. Стійлово-пасовишне утримання характеризується тим, що викиди CH_4 від гною на пасовищі значно менші, а прямі і непрямі викиди N_2O взагалі не розраховують, оскільки цей азот вже належатиме до категорії «викиди від пасовищ». Проте під час випасання зростає частка CH_4 , який утворюється від

кишкової ферментації, оскільки тваринам потрібна додаткова енергія на підтримання активності під час ходьби і випасання.

Заключення. На прикладі типових для нашої країни технологій виробництва продукції свинарства та скотарства показано суттєві відмінності в інтенсивності теоретично можливого газоутворення ПГ однією утримуваною твариною залежно від застосовуваної технології, що може слугувати одним із індикаторів екологічного навантаження тваринницьких господарств на навколишнє природне середовище.

Найбільш показовим може бути узагальнений середньорічний показник емісії на одну середньозважену утримувану тварину – при його обрахунку з урахуванням планових показників майбутнього виробництва продукції та застосовуваної технології можна коригувати планові обсяги виробництва продукції із мінімальними екологічними ризиками в контексті зміни клімату.

REFERENCES

- Sintori, A., Tzouramani, I. & Lontakis, A. (2019). Greenhouse Gas Emissions in Dairy Goat Farming Systems: Abatement Potential and Cost. *Animals*, 9 (11), 945. <https://doi.org/10.3390/ani9110945>.
- Dick, M., Abreu da Silva, M., Franklin da Silva, R. R., Lauz Ferreira, O. G., de Souza Maia, M., Ferreira de Lima, S., Borges de Paiva Neto, V., & Dewes, H. (2021). Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. *Journal of Cleaner Production*, 311 (15). DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127750.
- Aguilera, E., Reyes-Palomo, C., Díaz-Gaona, C., Sanz-Cobena, A., Smith, P., García-Laureano, R., & Rodríguez-Estévez, V. (2021). Greenhouse gas emissions from Mediterranean agriculture: Evidence of unbalanced research efforts and knowledge gaps. *Global Environmental Change*, 69 (12), 102319. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102319>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013) *Tackling climate change through livestock. - A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. Режим доступу: <http://www.fao.org/3/i3437e/i3437e00.htm>
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Linden, P. J. Van der, Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. Режим доступу: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. [eds] (2006). IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme Technical Support Unit. Japan, 4, Ch. 10. Режим доступу: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- <http://www.fao.org/news/story/en/item/197623/>
- <http://www.fao.org/sustainability/news/news/ru/c/1271604/>
- Bellarby, J., Tirado, R., Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J. P., & Smith, P. (2012). Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology*. 19, 3–18. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360 (6392), DOI: 10.1126/987-992science.aaq0216.
- Wolf, J., Asrar, G. R., & West, T. O. (2017). Revised methane emissions factors and spatially distributed annual carbon fluxes for global livestock. *Carbon Balance Manage*, 12 (16). DOI: 10.1186/s13021-017-0084-y
- Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M. C., Thornton, P. K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D., & Obersteiner, M. (2013). Biomass use, production, feed efficiencies, and

- greenhouse gas emissions from global livestock systems. *PNAS*, 110 (52) 20888–20893. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308149110>.
- Herreroa, M., Gerberb, P., Vellingac, T., Garnettd, T., Leipe, A., Opiob, C., Westhoekf, H. J., Thorntona, P. K., Oleseng, J., Hutchingsg, N., Montgomeryhj, H., Soussanai, J. F., Steinfeldb, H., & McAllisterj, T. A. (2011). Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167 (23), 779–782. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083>
- Nykyforuk, O. V. (2014). Vplyv kompleksu faktoriv na emisiuu parnykovykh haziv vid svynofarmy [The influence of a complex of factors on the emission of greenhouse gases from a pig farm] *Visnyk ahrarnoi nauky – Herald of Agrarian Science*, 5, 73–75. [In Ukrainian]
- Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., & Turner, S. P. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal*. 11 (2), 274–284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>
- Twine, R. (2021). Emissions from animal agriculture – 6.5% is the new minimum figure. *Sustainability*, 13 (11), 6276. DOI: 10.3390/su13116276.
- Ukraine's greenhouse gas inventory 1990-2019. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.* (2021). Режим доступу: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/Kadastr_2021/Ukraine_NIR_2021_draft.pdf
- Li-zhi, W., Bai, X., & Yan, T. (2017). Greenhouse gas emissions from pig and poultry production sectors in China from 1960 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (1), 221–228. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61372-2
- Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T.-S., Ciaias, P., Tubiello, F. N., Smith, P., Campbell, N., & Jain, A. K. (2021). Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food*, 2 (9), 724–732. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00358-x>.
- Zhukorskyi, O., Nykyforuk, O., & Boltyk, N. (2017). Ecological specificities of the interaction between animal breeding and climate changes, caused by greenhouse gas emissions. *Agricultural Science and Practice*, 4 (3), 62–72. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.03.062>.
- Zhukorskyi, O. M., Nykyforuk, O. V., & Boltyk, N. P. (2015). Emisiia parnykovykh haziv vid koriv na fermakh iz vyrobnytstva moloka [Greenhouse gas emissions from cows on dairy farms] *Visnyk ahrarnoi nauky – Herald of Agrarian Science*, 5, 45–48. [In Ukrainian].

Одержано редколегією 07.05.24 р.

Прийнято до друку 25.06.24 р.