Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No. 4, 107-115*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.04.107

УДК 620.953:631.11

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИГЕСТАТУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

В. М. Поліщук[1], Д. А. Дерев'янко[2], С. А. Шворов[1], Є.О. Дворник[1], Т. С. Давиденко[1]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Поліський національний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: polischuk.v.m@gmail.com; derevyanko.dmutro@gmail.com; sosdok@i.ua; davidenkotaras009@gmail.com.

Історія статті: отримано – серпень 2020, акцептовано – жовтень 2020.
Бібл. 35, рис. 0, табл. 1.

Анотація. Встановлено, що дигестат біогазових установок є цінним органічним добривом, яке швидко засвоюється рослинами, містить комплекс необхідних для росту рослин макро- та мікроелементів, має високий вміст легкодоступного азоту для рослин, має рівень pH, близький до нейтрального, та не містить життєздатного насіння бур'янів та патогенної мікрофлори. Вносити необроблений дигестат в грунт технічно складно, тому його попередньо розділяють на тверду і рідку фракції на сепараторах. Великою проблемою комерційного використання дигустату в Україні є відсутність його стандартизації. При внесенні дигестату на власні поля компанії, якій належить біогазова установка, стандартизація його якості не є критичною. Однак відсутність стандарту на дигестат як високоякісне органічне добриво суттєво обмежує його використання. Проведене визначення потреб в дигестаті для відновлення родючості грунту і підживлення сільськогосподарських культур в і із стадом 1000 голів ВРХ (500 голів дійних корів і 500 голів молодняку і нетелів) і з площею ріллі 1800 га. Встановлено, до для комерційного використання після внесення на поля залишається лише одна тонна дигестату, прибуток від продажу якої суттєво не впливає на рентабельність біогазового виробництва. Термін окупності біогазової установки при цьому становить 6,4 роки і залежить від собівартості виробництва біогазу. При комерційному використанні всього виробленого за рік дигестату термін окупності біогазової установки знижується до одного року і нижче і не залежить від собівартості виробництва біогазу, а вплив "зеленого" тарифу на термін окупності біогазової установки нівелюється.

Ключові слова: дигестат, рідка фракція, тверда фракція, біогаз, біогазова установка, косубстрат, субстрат, гній ВРХ, термін окупності, економічна ефективність.

Постановка проблеми

Використання відходів тваринництва є найважливішою проблемою сучасності. Їх можна переробляти в енергетично цінний газ – біогаз, а відходи від виробництва біогазу використовувати в якості цінних органічних добрив. Відходи тваринництва добре піддаються анаеробному метановому зброджуванню, однак дають відносно невеликий вихід біогазу. Як зазначено в роботі [1], в сільськогосподарському підприємстві доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується. Відходи цих переробних підприємств здатні повність забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки на рівня 6,4 роки.

Разом із тим, не у всіх сільськогосподарських підприємствах є в наявності достатня кількість косубстратів, щоб цілорічно забезпечити ними біогазову установку. Тому в таких господарствах основним субстратом для зброджування в біогазовій установці є гній сільськогосподарських тварин (як правило, великої рогатої худоби або свиней, чи їх суміш). Однак вихід біогазу із цих субстратів без додавання косубстратів суттєво знижується, зменшуються прибутки господарства, а період окупності біогазової установки навіть із використанням "зеленого" тарифу може перевищувати 10 років. Тому в таких господарствах потрібно використовувати дигестат біогазових установок не лише для відновлення родючості грунту на полях господарства, а й для продажу населенню та в інші сільськогосподарські підприємства, що суттєво збільшить доходи від експлуатації біогазової установки, а отже і зменшить період її окупності.

Аналіз останніх досліджень

В дослідженні [2] дане визначення дигестату, згідно із яким це продукт біоконверсії органічних матеріалів у процесі метанового бродіння, в результаті чого комплексна органічна речовина

розпадається до більш простих органічних сполук, мінералізованих речовин, мікробної біомаси та біогазу. Внаслідок розпаду органічної речовини, процесів мінералізації та вивільнення біогазу, в порівнянні з вхідною сировиною, в утвореному дигестаті зменшується вміст сухої речовини, і відповідно підвищується вологість (може знаходитись в межах 92-99%, але, як правило, становить 94-96%) та знижується в'язкість. Збільшується на 10-70% вміст аміачного азоту (безпосередньо доступного для живлення рослин). Збільшення частки аміачного азоту залежить від його початкового вмісту в сировині – менший приріс в процесі бродіння характерний гноївці свиней та ВРХ, більший – харчовим відходам та рослинній сировині. Зменшується співвідношення C/N за рахунок вивільнення частини вуглецю з біогазом. Оптимальне для процесу метанового бродіння співвідношення C/N на рівні 20-30 вважається оптимальним також для біоценозу ґрунту. Зменшується вміст патогенної мікрофлори та життєздатного насіння бур'янів у результаті одночасного впливу температури (як правило 38-40ºС) та кислотності в метантенку протягом тривалого часу (не менше 25-30 діб). Отже, дигестат має такі важливі для ґрунтів та агровиробництва характеристики: містить комплекс необхідних для росту рослин макро- та мікроелементів (N, P, K, S, Co, Mo, Zn, Fe, Mn тощо); має високий вміст легкодоступного азоту для рослин (60-80% вмісту азоту загального); має збалансований склад C/N (20-30); має рівень pH, близький до нейтрального (6,.5-8,0); не містить (мінімальний вміст) життєздатного насіння бур'янів та патогенної мікрофлори (за умови дотримання необхідної тривалості та температури процесу).

Так, в роботах [3], [4] вказано, що шлам біогазових виробництв завдяки високому вмісту поживних речовин (N, P, K) може бути використаний в якості органічного добрива для сільськогосподарських земель. В праці [5, с. 27] пояснений механізм утворення такого якісного органічного добрива в процесі метанового зброджування відходів, згідно із яким в процесі бродіння аміак виділяється з органічних азотистих сполук і разом з сполуками фосфору і калію, наявними в субстраті та такими, що утворюються в результаті розкладання, перетворює перероджену масу в багате поживними речовинами органічне добриво. Крім того, залежно від ступеня зброджування, зменшується вміст вуглецю порівнянні з його вмістом у вихідному субстраті. Обумовлене цим зменшення співвідношення C/N виявляється сприятливим при використанні шламу в якості добрива. Під час метанового розкладання органічних речовин відбувається розклад органічних з'єднань, відповідальних за наявність неприємних запахів в початковому субстраті. Тому шлам біогазових виробництв, як правило, такого запаху, який характерний для початкового продукту до його метанового зародження.

Ступінь розкладання органічних речовини (біоконверсія) безпідстилкового гною залежить від експозиції. Максимальна ступінь біоконверсії органічної речовини 53% (технічне зброджування) досягається лише при довгостроковій експозиції і на практиці не використовується. Кращі органічні добрива при метановому зброджуванні в мезофільному режимі отримуються при ступені біоконверсії органічної речовини 30-33%. Для досягнення такого рівня біоконверсії органічної маси в проточних реакторах повного змішування необхідна експозиція 20-22 діб [6, с. 19]. При цьому слід мати на увазі, що в установках безперервної і квазібезперервної дії частина субстрату може вийти з установки в не переробленому вигляді [5, с. 28]. В установках періодичної дії середня тривалість бродіння сировини при психрофільному температурному режимі становить від 30-40 і більше діб, при мезофільному режимі – в межах 10-20 діб, при термофільному – в межах 5-10 діб [7, с. 24].

В дослідженні [8] вказується, що найпростішим способом застосування «сирого» дигестату в якості органічного добрива є його внесення на поля без попередньої обробки. Однак, така практика має певний ряд обмежень та недоліків, а тому не набула значного поширення. Біогазові установки, як правило, працюють протягом року безперервно, що зумовлює потребу у накопиченні дигестату в період між його осіннім та весняним внесеннями в якості органічного добрива на поля. Таке зберігання найдешевше здійснювати у негерметичних відкритих резервуарах (лагунах), що часто і відбувається в господарствах. Однак при тривалому зберіганні дигестату у відкритих лагунах відбувається осідання твердих часток та їх накопичення на дні лагуни. При цьому в процесі метанового бродіння розкладається не більше 50% органічних речовин, тому збільшення маси нерозкладених органічних речовин при тривалому зберіганні дигестату в лагуні також збільшуються викиди в атмосферу парникового газу метану (до 10% його потенціалу у сировині). Також, зважаючи на досить значний вміст крупних органічних часток в «сирому» дигестаті, існують обмеження при внесенні його в ґрунт, фактично лишаючи місце лише розливу або поверхневому розбризкуванню. При цьому втрачається суттєва частина легкодоступного для рослин азоту, а також можуть поширюватись на значні відстаті неприємні запахи. Тому в більшості випадків необхідною є попередня обробка «сирого» дигестату, яка на більшості біогазових установок обмежується розділенням його в сепараторах, переважно шнекового типу, на на дві фракції: рідку та тверду. Рідка фракція збагачена калієм та азотом і містить 1-8% сухих речовин, тверда фракція збагачена фосфором та вуглецем і містить 20-40% сухої речовини. Менш поширені інші способи переробки дигестату, в результаті яких отримують висушену тверду фракцію дигестату, гранули з дигестату, сульфат амонію, N-збіднений дигестат, аміачну воду тощо.

В роботі [9] стверджується, що тверду фракцію дигестату або компостують з іншими органічними відходами, або застосовують для приготування грунтів. Так, в роботі [10] відзначається, що дигестат є хорошим органічним добривом, але його якість може бути покращена шляхом розділення на фракції

або компостування, а в роботі [11] вказано, що поширеною технологією є сепарація твердої та рідкої середовищем з використанням гвинтових сепараторів і декантерних центрифуг; подальші обробки і технології можуть застосовуватися для стабілізації твердої фракції або подальшої переробки рідкої фракції. В роботі [12] проведене дослідження використання твердої фракції шламу біогазових виробництв для подальшого компостування, яке для знищення патогенної мікрофлори певний час проводилось при температурі 70°С. Загальний час компостування становив 51 добу. В праці стверджується, що компостування твердої фракції може вирішити питання використання дигестату. В роботі [13] проаналізована можливість використання залишків після виробництва біогазу в якості органічних добрив. Дослідження проводились без сепарації та після розділення на тверду і рідку фракції. Відзначається, що особливо негативний вплив на тестовані організми тоді було відзначено для рідкої фази після сепарації. У багатьох випадках дигестат без поділу також надавав несприятливий вплив на тестовані організми. Рідка фаза після поділу і нерозділені матеріали викликали гальмування росту коренів L. sativum і S. alba на рівні 17,42-100% і 30,5-100% відповідно, а також інгібування розмноження F. candida в діапазоні від 68,89% до 100%. У більшості випадків екотоксикологічний ефект не спостерігався для твердої фази для тестованих організмів. Тверда фаза після поділу виявляла найбільш сприятливі властивості. В роботі [14], окрім дослідження виробництва біогазу, також проводилось дослідження використання дигестату після зброджування стічних вод пивоварного заводу. Встановлена висока концентрації поживних речовин: азоту – 3,2-4, 2%, фосфору – 1,9-3,2%, калію – 0,95-0,96%. Реакція такого органічного добрива, отримана після зброджування залишків коньячного виробництва, – лужна (pH 7,2-7,8), як зазначено в [15], що робить його особливо корисним для кислих ґрунтів. У порівнянні з добривом, одержаним із гною звичайним способом, урожайність збільшується на 10-15%. Продаж таких добрив на зовнішньому ринку дозволяє довести окупність капіталовкладень у біогазову установку до двох років. У статті [16] пропонувалось використовувати дигестат від зброджування залишків виробництва лікеро-горілчаної продукції (післяспиртової барди) як органічне азотне добрива. Польовий експеримент проводився на весняно-літніх сортах салату. Було встановлено, що використання дигестату в якості органічних азотних добрив не здійснює негативного впливу на ріст рослин, зберігаючи якісні аспекти без змін. Вміст нітратів був нижчим від найжорсткіших обмежень, встановлених регламентом ЄС. У роботі [17] було зроблено висновок, що при використанні дигестату в якості органічних добрив при вирощуванні пшениці, він був багатим поживними речовинами і низьким вмістом важких металів і патогенів, і не впливав на викиди метану і вуглекислого газу при внесенні на грунт, оброблений пшеницею, але збільшував викид діоксиду азоту. Ефективність використання дигестату після зброджування гною великої рогатої худоби порівняно з ефективністю використання комерційних органічних і мінеральних добрив при вирощуванні сафлору досліджувалось в роботі [18]. Була встановлена більш висока врожайність сафлору при використанні дигестату. Порівняння ефективності застосування біошламу органічних побутових відходів, компосту і курячого посліду при вирощуванні цибулі-порею було проведене в роботі [19]. Обидва експерименти були проведені на чотирьох типах ґрунту (пісок, два типи суглинків і глина). Після 168 днів інкубації неорганічного азоту від загального азоту становив 40-60% для дигестату, 15% для компосту і 20-30% для курячого посліду. Тільки при використанні курячого посліду чиста азотна мінералізація була досягнута в усіх чотирьох грунтах в кінці інкубації. Рослинами цибулі-порею було використано від 5% до 20% азоту дигестату, 1% азоту компосту N і 6% азоту курячого посліду. Внесення дигестату анаеробного зброджування відходів обробки тунця та твердих побутових відходів при вирощуванні кукурудзи на острові Тутуйла (Американське Самоа) викликало збільшення врожаю прямо пропорційно до збільшення норми внесення [20]. В роботі [21] порівнювався вплив дигестату і мінеральних добрив на урожайність кормових культур: люцерни і грястиці збірної. Було встановлено, що при вирощуванні люцерни не було виявлено суттєвої різниці сумарної сухої ваги рослин при використанні вказаних добрив, тоді як середня продуктивність грястиці збірної при внесенні шламу біогазових виробництв була вищою, в перший рік на 41,3%, а в другий рік – на 23,0%. В роботі [22] вивчався вплив дигестату на врожайність рослин, поглинання азоту, мікробну біомасу грунту, грунтові гриби і кореневі мікроорганізми при культивуванні італійського райграсу. Було встановлено, що внесення в якості органічного добрива твердої фракції дигестату збільшили середню загальну надземну рослинну біомасу на 66%, несепарованого дигестату – на 35% порівняно з контролем без внесення добрив. Середнє значення поглинання азоту рослинами збільшилася при використанні твердої фракції дигестату на 166%, несепарованого – на 65% порівняно з вирощуванням італійського райграсу без удобрення. Вплив застосування відсепарованої твердої фракції і невідсепарованого дигестату на грунтові мікробні показники було аналогічним, за винятком нижньої біомаси грибів. На відміну від твердої фракції дигестату, невідсепарований дигестат значно збільшував мікробну біомасу грунту (приблизно на 25%) порівняно з контролем без внесення добрив. В роботі [23] розглядалось застосування компосту і дигестату в якості потенційних альтернативних органічних джерел азоту, які можуть використовуватися без негативного впливу на властивості грунту. Найвищий рівень використання азоту був виявлений в варіантах, де були застосоване сумісне внесення дигестату (150 кг/га N) і компосту (150 кг/га N), що на 20% вище в порівнянні з варіантом контролю (без добрив) і 35% – з варіантом внесення мінерального азоту. В роботі зроблений висновок, що застосування дигестату здійснило позитивний вплив на розвиток біомаси

рослин, а застосування компосту – на підвищення родючості грунтів.

Результати досліджень використання рідкої фракції дигестату для живлення рослин при вирощуванні цибулі на перо в грунті описані в роботі [24], а в умовах гідропоніки – в роботі [25]. Встановлено, що найбільша врожайність спостерігається при підживленні сумішшю рідкої фракції дигестату з водою концентрацією 1:500. При збільшенні концентрації рідкої фракції дигестату та підживленні рослин водним розчином мінеральних добрив врожайність дещо зменшується. Підживлення рослин концентрованою рідкою фракцією дигестату призводить до часткової загибелі рослин і зниження врожаю. При підживленні рослин чистою водою врожайність цибулі на перо порівняно із варіантом підживлення рослин сумішшю рідкої фракції дигестату з водою концентрацією 1:500 знижується наполовину. Вміст нітратів в цибулі на перо не перевищує ГДК при щоденному підживленні рослин сумішшю рідкої фракції дигестату з водою концентрацією 1:100-1:500. При збільшенні концентрації рідкої фракції дигестату понад 1:50 вміст нітратів в рослинах перевищує ГДК.

Дигестат біогазових установок, попри цінність в якості джерела комплексу мікро- та макроелементів, органічного вуглецю, потрібних для росту рослин, володіє і рядом особливостей, які обмежують його застосування та комерціалізацію. Основною особливістю, яка знижує конкурентноздатність дигестату, є мінливість його фізико-хімічних властивостей, що зумовлюється комбінацією різних факторів: мінливістю складу вхідної сировини та обсягу її внесення в метантенк, складністю контролю біохімічних процесів, які відбуваються при анаеробному бродінні, постферментаційна (залишкова) хімічна та біологічна активність утвореного дигестату. Під час внесення дигестату на власні поля компанії, якій належить біогазова установка, стандартизація його якості не є критичною, хоча б і дозволила здійснювати якісніше управління станом ґрунтів, а отже, і врожайністю сільськогосподарських культур. Для вільного обігу продукти з дигестату необхідно стандартизувати. Це дозволить підвищити конкурентоздатність дигестату на ринку добрив, розширити перелік груп споживачів та ринкових ніш. Однак в українському законодавстві не сформульовано ані узагальненого поняття «дигестат», яке б охоплювало всі потоки дигестату, який утворений із сировини тваринного та рослинного походження, ні вимог щодо стандартизації дигестату чи продуктів із нього. Зважаючи на поступове збільшення щорічних обсягів утворення в Україні дигестату (в 2019 р. – близько 2 млн. т) та необхідність сприяння комерціалізації та вільному обігу, питання стандартизації якості дигестату і продуктів з нього потребує швидкого вирішення на національному рівні. Зважаючи на рух України до поступової гармонізації законодавства з ЄС, доцільно було б гармонізувати також і питання, які пов'язані і стандартизацією якості дигестату. В країнах ЄС якість дигестату можна підтвердити відповідними сертифікатами. В останні 25 років у певних країнах ЄС були впроваджені схеми забезпечення якості продуктів з дигестату та компосту (в Італії – CIC, Німеччині – BGK, Бельгії – Vlaco, Австрії – KBVÖ). На загальноєвропейському рівні існує схема добровільної сертифікації дигестату та компосту ECN-QAS [26]. Навіть в нашого найближчого сусіда – Російської Федерації, впроваджений стандарт на рідкий дигестат [27], завдяки чому він являє собою повноцінний комерційний продукт [28-35].

Мета досліджень

Мета дослідження – встановлення ефективності доцільності використання дигестату в комерційних цілях заради підвищення рентабельності біогазових установок.

Результати досліджень

В роботі [1] проведене дослідження ефективності виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах на прикладі модельного господарства із стадом 1000 голів ВРХ (500 голів дійних корів і 500 голів молодняку і нетелів) з використанням в якості косубстрату відходів виробництва крохмалю і молокопереробки. Основний прибуток біогазова установка в цьому дослідження отримує від продажу електроенергії, отриманої від спалювання біогазу в когенераційній установці, за "зеленим" тарифом. Термін окупності біогазової установки при зброджуванні гною ВРХ з використанням косубстратів знижується до 6,4 років, однак від близький до граничного, при якому інвестиції в спорудження нової установки вважаються нерентабельними. Вироблений дигестат при цьому майже повністю вноситься на поля господарства для відновлення родючості грунту і підживлення сільськогосподарських рослин. Це дає можливість вирощувати екологічно чисту продукцію, вартість якої значно вища від продукції, отриманої із використанням мінеральних добрив.

Отже, норма внесення свіжого гною становить 30-40 т/га (в середньому 30 т/га). Більш високих норм внесення зазвичай вимагають овочеві і силосні культури. Норма внесення компосту – 15-30 т/га під озимі, 20-40 т/га – під овочі і коренеплоди. В нашому випадку для відновлення родючості грунту планується внесення перебродженого гною – твердої фракції дигестату, для підживлення рослин – рідкої фракції дигестату.

Для відновлення родючості виснажених грунтів мінімальна доза твердих видів дигестату становить 0,5 кг/м^2 [27], або 0,5·10000=5000 кг/га, або 5 т/га. Для відновлення родючості 960+500+368+12=1800 га ріллі потрібно 1800·5=9000 т твердого дигестату.

Із ферми гній ВРХ поступає вологістю 87% [28]. В метантенку вологість субстрату шляхом додавання води або рідкого дигестату доводиться до 92%. Після вивантаження із біогазової установки дигестат на сепараторі розділяється на тверду фракцію вологістю

близько 60% [29, с. 158] і рідку фракцію.

Розрахунок кількості відтиснутого на сепараторі твердого і рідкого дигестату проводиться за формулами:

– рідкого дигестату:

$$m_{рід.диг} = \frac{m_г \cdot (W_{поч} - W_{кін})}{(100 - W_{кін})}, \quad (1)$$

– твердого дигестату:

$$m_{тв.диг} = m_г - m_{рід.диг}, \quad (2)$$

де $m_г$ – маса гною, т/добу; $m_{тв\ диг}$ – маса твердого дигестату, т/добу; $m_{рід.диг}$ – маса дигестату, т/добу; $W_{поч}$ – початкова відносна вологість субстрату (92%); $W_{кін}$ – кінцева відносна вологість твердого біошламу (60%).

Кількість відтиснутого на сепараторі твердого і рідкого дигестату після зброджування субстрату на основі гною ВРХ з додаванням косубстратів наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Кількість відтиснутого на сепараторі твердого і рідкого дигестату після зброджування субстрату на основі гною ВРХ з додаванням косубстратів.

Table 1. The amount of solid and liquid digestate pressed on the separator after fermentation of the substrate based on cattle manure with the addition of co-substrates.

Показник	Значення
Добове завантаження субстрату, всього, т/добу, із них	58,8
– гною, т/добу	40,0
Маса рідкого дигестату, т/добу	32,0
Маса твердого дигестату (вологість 60%), т/добу	8,0
Маса рідкого дигестату, т/рік	10880
Маса твердого дигестату, т/рік	2720

В біогазовій установці за рік виробляється 2720 т твердого дигестату, який при нормі внесення 5 т/га може забезпечити органічним добривом 2720/5=544 га ріллі. Недолік органічного добрива буде компенсуватись приорюванням соломи і стебел кукурудзи. В Європі рекомендується для органічного добрива на полі залишати не менше 60% від всього врожаю соломи і стебел кукурудзи. Тобто потрібна солома для 1800-544=1256 га ріллі.

Для унеможливлення утворення токсичних з'єднань в процесі розкладання соломи, а також погіршення умов азотного живлення рослин при закріпленні грунтового азоту мікроорганізмами солома вноситься разом з мінеральними добривами або твердим чи рідким гноєм.

Норма внесення соломи ярих – 2-3 т/га, озимих – 3-5 т/га [30]. Оскільки разом із соломою вноситься також і твердий дигестат, приймаємо меншу норму внесення соломи в якості добрива – 3 т/га. На 1 т соломи вноситься 10-20 кг мінерального азоту [31, с. 434]. В аміачній селітрі міститься 34,5% мінерального азоту. Тобто, на 1 т соломи потрібно внести (10…20)·1,345=13,45…26,9 кг аміачної селітри. Для внесення на площі 1256 га потрібно 3·1256=3770 т соломи чи стебел кукурудзи і 3·(0,01345…0,0269)·1256=50,68…101,34 т аміачної селітри. При вартості аміачної селітри 9352 грн./т затрати будуть становити 479-955 тис. грн.

Для підживлення рослин в період вегетації рекомендується один раз на місяць в період вегетації навколо рослин або в міжряддя вносити рідкий дигестат в дозі 0,5 кг/м^2 [27], або 0,5·10000=5000 кг/га, або 5 т/га. На 1800 га сільськогосподарських культур для одноразового підживлення потрібно 1800·5=9000 т дигестату. На частині орних земель можна провести дворазове підживлення 10880-9000=1880 т дигестату, а саме на 1880/5=376 га. На решті 1800-376=1424 га підживлення проводиться мінеральними добривами, наприклад, КАС. Для другого підживлення норма внесення КАС-28 становить до 20 кг N/га. Тобто, на 1424 га потрібно внести 1424·20=28480 кг азота. В добриві КАС-28 міститься 28% азоту. Отже, на 1424 га с.-г. угідь потрібно внести 28,48·100/20=102 т КАС. Вартість КАС-28 становить 7300 грн./т. Отже, затрати на закупівлю рідких мінеральних добрив становитимуть 7300·1424=10 400 000 грн.

Невелику кількість дигестату (близько 1 т) можна із успіхом продати населенню при умові реклами його ефективності і прийняття державного стандарту на використання дигестату. Ціна рідкого дигестату в Російській Федерації становить 300 руб. за 5 л, або 60 руб/л., що при курсі 2,33 – 60/2,33=25,8 грн/л(кг), або 25800 грн/т. За умови продажу 1 т рідкого дигестату прибуток може становити 25800 грн.

Якщо ж всю фракцію рідкого дигестату (10880 т) пустити на продаж (за умови його стандартизації і сертифікації), замінивши її рідкими мінеральними добривами, то річні грошові надходження при цьому становитимуть 10880·25800=280 704 000 грн. Враховуючи річні грошові надходження від продажу електроенергії в сумі 39 533 219 грн. без "зеленого" тарифу і 63 234 267 грн. із "зеленим" тарифом та собівартість біогазу – 15 416 612 грн. [1], прибуток від продажу рідкої фракції дигестату становитиме: 280 704 000+63 234 267-15 416 612=328 521 655 грн. із "зеленим тарифом", 280704000+39533219-15416612=304820607 грн. без "зеленого" тарифу. При капіталовкладеннях в біогазову установку 307016667 грн. [1] її термін окупності навіть без використання "зеленого" тарифу знизиться до 304820607/307016667=1,0 року, а з його використанням – до 304820607/328521655=0,94 роки. Тобто, рентабельність біогазових установок при продажу виробленого дигестату суттєво зростає, а вплив "зеленого" тарифу на термін окупності біогазової установки нівелюється.

Висновки

1. Використання дигестату в комерційних цілях для продажу в якості високоефективного органічного добрива сприяє суттєвому покращенню рентабельності біогазових установок, при цьому їх термін окупності знижується до одного року і нижче і відпадає необхідність в використанні "зеленого" тарифу. Однак для цього в Україні на державному рівні необхідно здійснити стандартизацію дигестату біогазових установок.

Список літератури

1. *Поліщук В. М., Шворов С. А., Дерев'янко Д. А., Давиденко Т. С.* Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах. Machinery & Energetics. 2020, Vol. 11, No 2. С. 21-27. doi: 10.31548/machenergy.2020.02.021-027.

2. *Кучерук П.* Що таке дигестат? Матеріали із сайту Біоенергетичної асоціації України UABIO [Електронний ресурс]. URL: https://saf.org.ua/news/984/ (дата доступу: 11.11.2020).

3. *Mirel I., Isacu M., Bakos M.* Harnessing the untapped renewable energy potential of the organic loads of urban wastewater. International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM. 2012. Vol. IV. P. 515-522. doi:10.1109/iembs.2011.6090487.

4. *Tambone F., Scaglia B., D'Imporzano G., Schievano A., Orzi V., Salati S., Adani F.* Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere. 2010. Vol. 81, Issue 8. P. 577-583. doi: 10.1016/j.chemosphere. 2010.08.034.

5. *Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М.* Биогаз: теория и практика. Москва. Колос, 1982. 148 с.

6. Використання біомаси на енергетичні потреби в сільському господарстві. Біогазові технології. Дослідницьке: УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого, 2008. 72 с.

7. *Веденев А. Г., Маслов А. Н.* Строительство биогазовых установок: краткое руководство. Бишкек: Евро, 2006. 28 с.

8. *Кучерук П.* Обробка дигестату та похідні продукти з нього. Матеріали із сайту Біоенергетичної асоціації України UABIO [Електронний ресурс]. URL: https://saf.org.ua/news/1017/ (дата доступу: 11.11.2020).

9. *Иовик Л. Н.* Оспользование сброженного отхода биогазовой установки в качестве органического удобрения (аналитический обзор). *Почвоведение и агрохимия*. 2015. №1(54). С. 230-237.

10. *Bayle S., Cariou S., Despres J.-F., Chaignaud M., Cadiere A., Martinez C., Roig B., Fanlo J.-L.* Biological and Chemical Atmospheric Emissions of the Biogas Industry. Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 54. P. 295-300. doi: 10.3303/CET1654050.

11. *Al Seadi T., Drosg B., Fuchs W., Rutz D., Janssen R.* Biogas digestate quality and utilization. Biogas handbook: science, production and applications. 2013. Vol. 5. P. 267-301. doi: 10.1533/9780857097415. 2.267.

12. *Czekala W., Dach J., Dong R., Janczak D., Malinska K., Jozwiakowski K., Smurzynska A., Cieslik M.* Composting potential of the solid fraction of digested pulp produced by a biogas plant. Biosystems engineering. 2017. Vol. 160. P. 25-29. doi: 10.1016/j.biosystemseng. 2017.05.003.

13. *Stefaniuk M., Bartminski P., Rozylo K., Debicki R., Oleszczuk P.* Ecotoxicological assessment of residues from different biogas production plants used as fertilizer for soil. Journal of hazardous materials. 2015. Vol. 298. P. 195-202. doi: 10.1016/j.jhazmat.2015.05. 026.

14. *Pecharaply A., Parkpian P., Annachhatre A. P., Jugsujinda A.* Influence of anaerobic co-digestion of sewage and brewery sludges on biogas production and sludge quality. Journal of environmental science and health part a-toxic/hazardous substances & environmental engineering. 2007. Vol. 42, Iss. 7. P. 911-923. doi: 10.1080/10934520701369818.

15. *Шевченко Р. І.* Екологізація коньячного виробництва на основі еколого-енергетичного аналізу. Екологічна безпека. 2008. №2. С. 102-105.

17. *Pampillon-Gonzalez L., Luna-Guid M., Ruiz-Valdiviezo V., Franco-Hernandez O., Fernandez-Luqueno F., Paredes-Lopez O., Hernandez G., Dendooven L.* Greenhouse Gas Emissions and Growth of Wheat Cultivated in Soil Amended with Digestatefrom Biogas Production. Pedosphere. 2017. Vol. 27, Issue 2. P. 318-327. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60319-9.

18. *Kocar G.* Anaerobic digesters: from waste to energy crops as an alternative energy source. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2008. Vol. 30. P. 660-669. doi: 10.1080/00908310600628404.

19. *Båth B., Rämert B.* Organic Household Wastes as a Nitrogen Source in Leek Production. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 1999. Vol. 49, Issue 2. P. 201-208. doi: 10.1080/713782027.

20. *Rivard C. J., Rodriguez J. B., Nagle N. J., Self J. R., Kay B. D., Soltanpour P. N., Nieves R. A.* Anaerobic digestion of municipal solid waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1995. Vol. 51. P. 125-135. doi: 10.1007/BF02933417.

21. *Montemurro F., Canali S., Convertini G., Vitti C.* Anaerobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil. Agrochemica. 2008. Vol. 52. P. 297-312.

22. *Wentzel S., Joergensen R. G.* Effects of biogas and raw slurries on grass growth and soil microbial indices. *Journal of plant nutrition and soil science*. 2016. Vol. 179, Iss. 2. P. 215-222. doi: 10.1002/jpln.201400544.

23. *Simeckova J., Elbl J., Kintl A.* Changes in content of soil mineral nitrogen and utilization of mineral nitrogen by soil microorganusms due to application of different fertilizers.: 23rd International PhD Students Conference (MendelNet), 9-10 November, 2016, Mendel Univ Brno, Fac AgriSciences, Brno, Czech Republic. Proceedings of International PHD students Conference. 2016. P. 486-491.

24. *Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K.* Impact of sediment formed in biogas production on productivity of grops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering. 2018. Vol. 22, № 1. P. 105-125.

doi: 10.1515/agriceng-2018-0010.

25. *Дубровін В. О., Коломієць Ю. В., Таргоня В. С.* Вплив ферментованої гнойової біомаси на вегетацію овочевих культур у закритому ґрунті. Агробіологія. 2011. Вип. 6 (86). С. 99-103.

26. *Кучерук П.* Стандартизація якості та сертифікація продуктів з дигестату. Матеріали із сайту Біоенергетичної асоціації України UABIO [Електронний ресурс]. URL: https://saf.org.ua/news/1029/ (дата доступу: 11.11.2020).

27. ГОСТ 33380-2015: Удобрения органические. Эффлюент. Технические условия. [Действителен от 2017-01-01]. Москва. Стандартинформ, 2016. 15 с. (Межгосударственный стандарт).

28. *Поліщук В. М., Дубровін В. О., Драгнєв С. В., Лободко М. М., Дубровіна О. В.* Процеси та апарати біотехнологічних виробництв. Ч. 2. Визначення виходу гнойової біомаси при утриманні худоби і птиці: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Процеси та апарати біотехнологічних виробництв" для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр” зі спеціальності 8.10010203 “Механізація сільського господарства”. Київ. АграрМедіаГруп, 2013. 20 с.

29. *Поліщук В. М.* Процеси та обладнання біотехнологічного виробництва газових біопалив: навч. посібник. Київ. НУБіП України, 2015. 244 с.

30. *Пимонов К. И.* Как при севе озимой пшеницы рассчитать дозу удобрений для того, чтобы находящаяся на поле солома не повлияла на развитие растений, может нужно добавить азотных удобрений при севе. Материалы из сайта РусьАгроЮг [Электронный ресурс]. URL: http://rusagroug.ru/consultations/288 (дата доступа: 04.12.2018).

31. *Минеев В. Г.* Агрохимия: ученик. 2-е изд., перераб. и доп. Мосвка. Изд-во МГУ, Изд-во КолосС, 2004. 720 с.

32. *Gorobets V. G., Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Lendiel T. I., Dudnyk A. O., Masiuk M. Y.* The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location. INMATEH. Agricultural Engineering. 2018. Bucharest. Vol. 56. No 3. P. 185-192.

33. *Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S.* Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, 2019. Vol. 12 (1). P. 117-128.

34. *Rogovskii I. L.* Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

35. *Zagurskiy O., Ohiienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I.* Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 162 p.

References

1. *Polishchuk V. M., Shvorov S. A., Derevianko D. A., Davydenko T. S.* (2020). Efficiency of producing biogas in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. 11 (2), 21-27. doi: 10.31548/machenergy.2020.02.021-027.

2. *Kucheruk P.* What is a digestate? Materials from the site of the Bioenergy Association of Ukraine UABIO [Electronic resource]. URL: https://saf.org.ua/news/984/ (access date: 11.11.2020).

3. *Mirel I., Isacu M., Bakos M.* (2012). Harnessing the untapped renewable energy potential of the organic loads of urban wastewater. International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM. IV. 515-522. doi:10.1109/iembs.2011.6090487.

4. *Tambone F., Scaglia B., D'Imporzano G., Schievano A., Orzi V., Salati S., Adani F.* (2010). Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere. 81 (8). 577-583. doi: 10.1016/j. chemosphere. 2010.08.034.

5. *Baader V., Done E., Brennderfer M.* (1982). Biogas: theory and practice. Moscow. Kolos, 148.

6. Use of biomass for energy needs in agriculture. Biogas technologies (2008). Research: UkrNDIPVT them. L. Pogorily, 72.

7. *Vedenev A. G., Maslov A. N.* (2006). Building biogas plants: a short guide. Bishkek: Euro, 28.

8. *Kucheruk P.* Processing of digestate and its derivatives. Materials from the site of the Bioenergy Association of Ukraine UABIO [Electronic resource].URL: https://saf.org.ua/news/1017/ (access date: 11.11.2020).

9. *Iovik L .N.* (2015.) Use of fermented waste from a biogas plant as organic fertilizer (analytical review). *Soil science and agrochemistry*. 1 (54). 230-237.

10. *Bayle S., Cariou S., Despres J.-F., Chaignaud M., Cadiere A., Martinez C., Roig B., Fanlo J.-L.* (2016). Biological and Chemical Atmospheric Emissions of the Biogas Industry. Chemical Engineering Transactions. 54. 295-300. doi: 10.3303/CET1654050.

11. *Al Seadi T., Drosg B., Fuchs W., Rutz D., Janssen R.* (2013). Biogas digestate quality and utilization. Biogas handbook: science, production and applications. 5. 267-301. doi: 10.1533/9780857097415. 2.267.

12. *Czekala W., Dach J., Dong R., Janczak D., Malinska K., Jozwiakowski K., Smurzynska A., Cieslik M.* (2017). Composting potential of the solid fraction of digested pulp produced by a biogas plant. Biosystems engineering. 160. 25-29. doi: 10.1016/j.biosystemseng. 2017.05.003.

13. *Stefaniuk M., Bartminski P., Rozylo K., Debicki R., Oleszczuk P.* (2015). Ecotoxicological assessment of residues from different biogas production plants used as fertilizer for soil. Journal of hazardous materials. 298. 195-202. doi: 10.1016/j.jhazmat.2015. 05.026.

14. *Pecharaply A., Parkpian P., Annachhatre A. P., Jugsujinda A.* (2007). Influence of anaerobic co-digestion of sewage and brewery sludges on biogas production and sludge quality. Journal of environmental science and

health part a-toxic/hazardous substances & environmental engineering. 42 (7). 911-923. doi: 10.1080/10934520701 369818.

15. *Shevchenko R. I.* (2008). Ecologization of cognac production on the basis of ecological and energy analysis. Ecological safety. 2. 102-105.

17. *Pampillon-Gonzalez L., Luna-Guid M., Ruiz-Valdiviezo V., Franco-Hernandez O., Fernandez-Luqueno F., Paredes-Lopez O., Hernandez G., Dendooven L.* (2017). Greenhouse Gas Emissions and Growth of Wheat Cultivated in Soil Amended with Digestatefrom Biogas Production. Pedosphere. 27 (2). 318-327. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60319-9.

18. *Kocar G.* (2008). Anaerobic digesters: from *waste to energy crops as an alternative energy source. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 30. 660–669. doi: 10.1080/ 00908310600628404.

19. *Båth B., Rämert B.* (1999). Organic Household Wastes as a Nitrogen Source in Leek Production. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. 49 (2). 201-208. doi: 10.1080/713782027.

20. *Rivard C. J., Rodriguez J. B., Nagle N. J., Self J. R., Kay B. D., Soltanpour P. N., Nieves R. A.* (1995). Anaerobic digestion of municipal solid waste. Applied Biochemistry and Biotechnology. 51. 125-135. doi: 10.1007/BF02933417.

21. *Montemurro F., Canali S., Convertini G., Vitti C.* (2008). Anaerobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil. Agrochemica. 52. 297–312.

22. *Wentzel S., Joergensen R. G.* (2016). Effects of biogas and raw slurries on grass growth and soil microbial indices. Journal of plant nutrition and soil science. 179 (2). 215-222. doi: 10.1002/jpln.201400544.

23. *Simeckova J., Elbl J., Kintl A.* (2016). Changes in content of soil mineral nitrogen and utilization of mineral nitrogen by soil microorganusms due to application of different fertilizers.: 23rd International PhD Students Conference (MendelNet), 9-10 November, 2016, Mendel Univ Brno, Fac AgriSciences, Brno, Czech Republic. Proceedings of International PHD students Conference. 486-491.

24. *Romaniuk W., Polishchuk V., Marczuk A., Titova L., Rogovskii I., Borek K.* (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of grops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering. 22 (1). 105-125. doi: 10.1515/agriceng-2018-0010.

25. *Dubrovin V. O., Kolomiets Y. V., Targonya V. S.* (2011). Influence of fermented manure biomass on vegetation of vegetable crops in closed soil. Agrobiology. 6 (86). 99-103.

26. *Kucheruk P.* Quality standardization and certification of digestate products. Materials from the site of the Bioenergy Association of Ukraine UABIO [Electronic resource]. URL: https://saf.org.ua/news/1029/ (access date: 11.11.2020).

27. Organic fertilizers. Effluent. Technical conditions. (2016). GOST 33380-2015 from 1d January 2017. Moscow: Standardinform.

28. *Polishchuk V. M., Dubrovin V. O., Dragnev S. V., Lobodko M. M., Dubrovina O. V.* (2013). Processes and devices of biotechnological productions. Part 2. Determination of manure biomass yield in livestock and poultry: guidelines for laboratory work in the disciplines "Processes and apparatus of biotechnological production" for students of agricultural universities 3-4 levels of accreditation educational qualification level "Master" in the specialty 8.10010203 "Mechanization of agriculture". Kyiv: AgrarMediaGroup, 20.

29. *Polishchuk V. M.* (2015). Processes and equipment of biotechnological production of gaseous biofuels: textbook. manual. Kyiv. NULES of Ukraine. 244.

30. *Pimonov K. I.* How to calculate the dose of fertilizers when sowing winter wheat so that the straw in the field does not affect the development of plants, it may be necessary to add nitrogen fertilizers when sowing. Materials from the site RusAgroYug [Electronic resource]. URL: http://rusagroug.ru/consultations/288 (access date: 04.12.2018).

31. *Mineev V. G.* (2004). Agrochemistry. Moscow: Moscow State University Publishing House, KolosS Publishing House. 720.

32. *Gorobets V. G., Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Lendiel T. I., Dudnyk A. O., Masiuk M. Y.* (2018). The numerical simulation of hydrodynamics and mass transfer processes for ventilating system effective location. INMATEH. Agricultural Engineering. 56(3). 185-192.

33. *Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S.* (2019). Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 12(1). 117-128.

34. *Rogovskii I. L.* (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 258. 399-407.

35. *Zagurskiy O., Ohiienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I.* (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 162.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИГЕСТАТА БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

В. Н. Полищук, Д. А. Деревянко, С. А. Шворов, Е. А. Дворник, Т. С. Давиденко

Аннотация. Установлено, что дигестат биогазовых установок является ценным органическим удобрением, которое быстро усваивается растениями, содержит комплекс необходимых для роста растений макро- и микроэлементов, имеет высокое содержание легкодоступного азота для растений, имеет уровень pH, близкий к нейтральному, и не содержит жизнеспособных семян сорняков и патогенной микрофлоры. Вносить необработанный дигестат в почву технически сложно, поэтому его предварительно разделяют на твердую и жидкую фракции на сепараторах. Большой проблемой коммерческого использования дигустата в Украине

является отсутствие его стандартизации. При внесении дигестата на собственные поля компании, которой принадлежит биогазовая установка, стандартизация его качества не является критической. Однако отсутствие стандарта на дигестат как высококачественное органическое удобрение существенно ограничивает его использование. Проведено определение потребностей в дигестате для восстановления плодородия почвы и подкормки сельскохозяйственных культур в хозяйстве со стадом 1000 голов КРС (500 голов дойных коров и 500 голов молодняка и нетелей) и с площадью пашни 1800 га. Установлено, до для коммерческого использования после внесения на поля остается только одна тонна дигестата, прибыль от продажи которого существенно не влияет на рентабельность биогазового производства. Срок окупаемости биогазовой установки при этом составляет 6,4 года и зависит от себестоимости производства биогаза. При коммерческом использовании всего произведенного за год дигестата срок окупаемости биогазовой установки снижается до одного года и ниже и не зависит от себестоимости производства биогаза, а влияние «зеленого» тарифа на срок окупаемости биогазовой установки нивелируется.

Ключевые слова: дигестат, жидкая фракция, твердая фракция, биогаз, биогазовая установка, косубстрат, субстрат, навоз КРС, срок окупаемости, экономическая эффективность.

EFFICIENCY OF DIGESTAT OF BIOGAS PLANTS

V. M. Polishchuk, D. A. Derevianko, S. A. Shvorov, Ye. O. Dvornik, T. S. Davydenko

Abstract. It has been established that the digestate of biogas plants is a valuable organic fertilizer that is quickly absorbed by plants, contains a complex of macro- and microelements necessary for plant growth, has a high content of readily available nitrogen for plants, has a pH level close to neutral and does not contain viable weed seeds and pathogens. microflora. It is technically difficult to make untreated digestate into the soil, so it is pre-divided into solid and liquid fractions on separators. A major problem with the commercial use of digestate in Ukraine is the lack of its standardization. When applying digestate to the company's own fields, which owns the biogas plant, the standardization of its quality is not critical. However, the lack of a standard for digestate as a high-quality organic fertilizer significantly limits its use. The needs for digestate were determined to restore soil fertility and fertilize crops in and with a herd of 1,000 cattle (500 heads of dairy cows and 500 heads of young cattle and heifers) and with an arable land area of 1,800 hectares. It is established that only one ton of digestate remains for commercial use after application to the fields, the profit from the sale of which does not significantly affect the profitability of biogas production. The payback period of the biogas plant is 6.4 years and depends on the cost of biogas production. With the commercial use of all digestate produced during the year, the payback period of the biogas plant is reduced to one year and below and does not depend on the cost of biogas production, and the impact of the "green" tariff on the payback period of the biogas plant is leveled.

Key words: digestate, liquid fraction, solid fraction, biogas, biogas plant, cosubstrate, substrate, cattle manure, payback period, economic efficiency.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.
Д. А. Дерев'янко ORCID 0000-0001-8487-2153.
С. А. Шворов ORCID 0000-0001-7776-9940.
Є. О. Дворник ORCID 0000-0003-4904-1076.
Т. С. Давиденко ORCID 0000-0003-0277-6892.