

БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 631.862

**Комплексна біотехнологія очищення стоків
тваринницької ферми**Сенчук М.М. *Білоцерківський національний аграрний університет*

Сенчук М.М. E-mail: m.m.senchuk@gmail.com



Сенчук М.М. Комплексна біотехнологія очищення стоків тваринницької ферми. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 1. С. 115–128.

Senchuk M.M. Comprehensive biotechnology of livestock farm wastewater purification. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 1. PP. 115–128.

Рукопис отримано: 03.03.2025 р.

Прийнято: 17.03.2025 р.

Затверджено до друку: 22.05.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-194-1-115-128

Екологічна ситуація, що склалась в країні, вітчизняний та закордонний досвід біологізації сільського господарства вказують на необхідність розроблення і впровадження постіндустріальних біоконверсних технологій та їх комплексного використання. Нині проблема очищення концентрованих стічних вод, до яких належать також стоки тваринницьких комплексів, набуває дедалі більшої ваги під час вирішення екологічних питань.

Застосування тваринницьких стоків на полях зрошення та компостування не дають можливості використати весь комплекс наявних у них органічних речовин. З іншого боку, використовувати нині способи оброблення та знезараження цих стоків не забезпечують необхідного ступеня очищення. Недостатньо очищені стічні води (ступінь очищення за аеробного оброблення становить 55–60 % за показником біохімічного споживання кисню), аварійні скидання зі гноєсховищ, зливні скидання з територій комплексу, завищені норми зрошення – все це спричинює забруднення ґрунту і водойм, тому необхідне удосконалення технологій очищення. Найбільш перспективною з екологічного погляду є комплексна технологія очищення концентрованих стоків тваринницьких ферм і комплексів з використанням анаеробної (метанової) ферментації на попередній стадії оброблення з подальшим аеробним очищенням, а також використання біофільтра та гідропонної установки.

Дослідження проводили на гнойових стоках молочно-товарної ферми великої рогатої худоби. Для їх очищення використовували устаткування, яке складається з анаеробно-аеробного ферментатора, біофільтра, блоку ємностей, систем теплозабезпечення та аерації. Біологічному очищенню на макетному зразку технологічної лінії піддавали рідку фракцію гнойових стоків після відстоювання у блоку ємностей. Метанова ферментація стоку проводилась у метантенку. Експозиція зброджування становила 5 діб за температурного режиму 40...45 °С. Зброжений стік надходив в аераційну ємність, де піддавався аерації стисненим повітрям протягом 2,5 доби. Попередньо очищений стік піддавався доочищенню на біофільтрі, після – на гідропонному обладнанні. Як гідропонний зелений корм використовували ячмінь. Його вирощували 7 діб з нормою висіву 5 кг/м².

У результаті очищення стоків тваринницької ферми за допомогою біологічного очищення з використанням анаеробної і аеробної аерації і біофільтра, а також гідропонного обладнання значення водневого показника (рН) зменшилося з 8,61 до 7,6, ХСК зменшилося – 3282 мг/л до 746 мг/л, БСК₅ – з 2177 мг/л до 96 мг/л, вміст азоту зменшився з 955 мг/л до 152 мг/л, вміст фосфору – з 180 мг/л до 7 мг/л. У результаті використання біофільтра вміст завислих речовин зменшився з 1520 мг/л до 70 мг/л.

Очищені стоки тваринницької ферми після вирощування гідропонного зеленого корму можна використовувати для технічних цілей, і не можна використовувати для прямого зливу у водойми.

Встановлено, що отриманий корм відповідає за хімічним складом ГЗК, який вирощувався на штучно приготовленому базовому розчині, а оптимальна тривалість вирощування – 7 діб за оптимальної норми висіву 5 кг/м².

Отримані результати досліджень дають підстави зробити висновок про доцільність використання комбінованих технологій, які включають процеси мікробіологічної нестерильної ферментації та фітоочищення. Одержана при цьому біомаса може використовуватись як гідропонний зелений корм.

Ключові слова: утилізація відходів, мікробіологічна ферментація, фітоочищення, гідропонний зелений корм, тваринницькі стоки.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Після ерозії ґрунтів органічні відходи є другою великомасштабною екологічною проблемою тваринницьких ферм і територій з великою щільністю населення [1,2].

Стічні води тваринницьких комплексів поділяються на гнойові (рідкий гній), виробничі, дощові та побутові. Найбільшу екологічну небезпеку становить рідкий гній тваринницької ферми. Серед домішок рідкого гною можуть бути яйця гельмінтів і патогенна мікрофлора в споривій формі. При цьому швидкість осідання часток основного класу (до 2 мм) із стоку гною становить майже 0,003 м/с, вологість гною – 77–98 % (нижня межа вологості отримана за вологості корму 85 %), зольність – 16–24 % та рН 5,2–8,3. В умовах виробництва вологість гною збільшується і залежить від технології його отримання та видалення і досягає 92–99 %, водночас частина сухої речовини в кількості 0,5–3,0 % знаходиться в розчинному стані. Зольність такого стоку становить 13–21 %, а рН – в межах нейтральної реакції середовища (6,5–6,8) [3].

Реологічні показники рідкого гною, які характеризують його структурно-механічні властивості, визначаються в'язкістю (або граничною напругою зсуву) та плинністю. У разі зміни вологості від 98 до 92 % в'язкість змінюється від 0,01 Па·с до 0,11 Па·с, а в діапазоні вологості 84–86 % значення в'язкості різко зростають, що свідчить про втрату плинності суміші [4,5].

У рідкому гною збудники патогенної мікрофлори за теплої пори року зберігають свої властивості протягом 92 днів, бруцельозу – 108 та вірусу ящуру – 42 дні. Осінньо-зимового періоду тривалість виживання хвороботворних бактерій різко зростає і становить 5–6 місяців, а збудника туберкульозу – понад

рік. Тому в екологічному сенсі найбільш доцільно зберігати рідкий гній у накопичувачах анаеробного типу, в яких створюються умови для його знезараження, знешкодження, покращення реологічних властивостей, збереження біогенних елементів та отримання біогазу [3, 6, 7, 8, 9].

До складу гною входять усі необхідні для розвитку рослин хімічні елементи. Це органічне добриво містить 0,35–0,66 % загального азоту, 0,15–0,76 % фосфору, 0,14–0,21 % калію. Азот у гною на 50–70 % представлений аміаком і карбонатом амонію, а також нітратною формою, на яку припадає від 3 до 8 %. Ці форми добре засвоюються рослинами. Крім того, безпідстилковий гній містить (у перерахунку на 10 % вмісту сухої речовини) мікроелементи: бор 3,6 мг/кг, марганець 27,3 мг/кг, молібден 0,2 мг/кг, мідь – 6,9 мг/кг, цинк – 36,8 мг/кг [10,11].

Як споруди для механічного очищення стоків застосовують різні модифікації проціджувачів та первинних відстійників. До проціджувачів, призначених для затримання крупних фракцій гною, належать вібросита, дугові сита, фільтр-сита, статичні сита, віброгрохоти, роторні фільтраційні барабани, віброфільтри, сітчасті барабанні фільтри. Проціджувальні пристрої мають низьку продуктивність і ефективність роботи, що визначається діаметром отворів сит. За збільшення діаметра отворів сит можливе отримання гною нижчої вологості при зниженні ефективності розділення на фракції. Тому після проціджувачів застосовують різні типи відстійників та освітлювачів. Найбільша ефективність роботи споруд досягається за тривалості відстоювання 2 годин і становить 75 % за завислими речовинами та 50 % за показником біохімічного споживання кисню (БСК) [12].

Глибше очищення гнойових стоків забезпечує багатоступінчасте біологічне очищення в аеротенках [13]. Застосовуються різні їх конструкції: аеротенки-відстійники з нормою мулу 6–8 г/л, коридорні аеротенки з децентралізованою подачею, аеротенки продовженої аерації (режим продовженої аерації рекомендовано за хімічного споживання кисню ХСК не більше 4,5 г/л, тоді тривалість аерації становить 4 доби (за норми мулу 10–12 г/л), аеротенки-змішувачі, високонавантажувані аеротенки. За необхідності глибшого очищення освітленого стоку рекомендується застосування двоступінчатого очищення в аеротенках. У цьому випадку зниження концентрації БСК і ХСК становить у середньому 85–98 %, а амонійного азоту – 60 %. Однак ефективність очищення другого ступеня в 2–3 рази нижче за ефективність першого, що пояснюється наявністю спектра органічних сполук, які важко окиснюються. Ефект зниження органічних забруднень зростає у разі попереднього очищення. У цьому випадку максимальне зниження БСК становить 90 % (за вихідного БСК 536 г/л), водночас мулова рідина легше обробляється на другому ступені [14].

Процеси анаеробного очищення відбуваються в герметичних метантенках чи біореакторах, зроблених з бетону, металу або високоміцного пластика. Важливо, що для життєдіяльності анаеробних мікроорганізмів не потрібен кисень. Процеси очищення відбуваються без викиду енергії, тому підвищення температури в ємності відсутнє. Під час розкладання органіки чисельність колоній бактерій практично не змінюється. Оскільки конструкція не потребує складної системи контролю умов середовища, анаеробне очищення вважають дешевшим методом [15].

У процесі метанового бродіння висококонцентрованих стічних вод відбувається зниження концентрації забруднень за БСК на 80–90 %, а в деяких випадках, наприклад у разі збродження стічних вод м'ясного виробництва, кількість органічних речовин знижується більш ніж на 95 %. Це дає підстави розглядати процес метанового бродіння не лише як попередню стадію очищення, а і як основну, оскільки після цього залишається лише незначна частина забруднень, остаточне видалення яких можна здійснити аеробним окисненням.

На основі проведених досліджень процесів очищення гнойових стоків можна висунути гіпотезу: для вирощування гідропонного зеленого корму (ГЗК) замість мінеральних се-

редовищ доцільно використовувати збродження в анаеробному-аеробному процесі гнойові стоки з метою їх доочищення.

Використання гідропонного зеленого корму має такі переваги: з 50 м² промислової площі можна одержати стільки ж корму за рік, скільки з 6 га, засіяних люцерною; 1 м² вегетаційної поверхні може дати щоденно 20–25 кг зеленої маси; з 1 т насіння можна отримати 5–6 т зеленої маси; фуражна маса за 7–8 діб збільшується у п'ять-шість разів, а поживна цінність – більш ніж удвічі-втричі; модульний принцип побудови комплексу дає змогу використовувати його як приватним споживачам, фермерам, так і на тваринницьких комплексах з продуктивністю від 150 кг і до 10 т на добу [16, 17].

Метою дослідження було розроблення технологічного процесу комплексної біотехнології утилізації рідких відходів тваринницьких ферм.

Матеріал і методи дослідження. Для характеристики ступеня забрудненості виробничих стічних вод органічними речовинами однієї величини БСК недостатньо, тому що не всі домішки виробничих стоків можуть окиснюватися біохімічним шляхом. Тоді вдаються до визначення хімічного споживання кисню (ХСК). Під ХСК розуміють кількість кисню, необхідного для окиснення органічних речовин до діоксиду вуглецю, води й аміаку.

Важливою характеристикою виробничих стічних вод є співвідношення БСК до ХСК, яке показує частку загального вмісту органічних домішок, що може бути окиснена біохімічним шляхом. Вважають, що біологічне очищення доцільне за співвідношення БСК/ХСК > 0,5. Вміст азоту і фосфору має перебувати в пропорції БСК:N:P=100:50:1, для стоків тваринницьких комплексів нижня межа значень – 100:37:0,9; верхня межа – 100:58,6:0,45 [18, 19].

Для дослідних гнойових стоків ферми великої рогатої худоби (табл. 1) співвідношення БСК/ХСК становило 0,66 (> 0,5), а БСК:N:P – 100:43,9:0,82.

Підігрівання гнойової маси в метантенку забезпечувала система підігріву. Температуру анаеробного процесу регулювали температурою теплоносія у водяній оболонці ферментатора. Тривалість анаеробного бродіння стоків регулювали добовим завантаженням гнойової маси.

Під час завантаження в метантенку певного об'єму гнойових стоків аналогічний об'єм вже зброжених стоків із верхньої частини метантенка надходив до аераційного

відсіку. Тоді такий самий об'єм вже проаерованих стоків надходив до біофільтру для біофільтрації.

Аерація зброжених стоків відбувалася за рахунок повітря, яке надходило з компресорної установки. Регулюючи подачу повітря, забезпечували необхідну продуктивність системи аерації.

Стоки (поживний субстрат) від біофільтра за допомогою ручного насоса подавали в ємність для очищених стоків.

Наразі поживний субстрат використовували для досліджень з доочищення стоків шляхом вирощування гідропонного зеленого корму за допомогою гідропонного обладнання.

Технологія вирощування ГЗК складається з двох основних процесів: пророщування зерна в умовах підвищеної вологості (2...3 доби) і вирощування зеленої маси за штуч-

ного освітлення (6...7 діб). Для вирощування зеленого корму використовували зерно зі схожістю не менш як 80...92 %, яке очищене від різних домішок і не має ознак грибкових захворювань та механічних пошкоджень.

Обладнання для вирощування ГЗК повинно забезпечувати дотримання заданих агротехнічних параметрів, циклічність виконання технологічних операцій і взаємодію всіх пристроїв між собою, відпрацьовувати технологію утилізації тваринницьких стоків, змінюючи параметри технологічних процесів.

До вирішальних агротехнічних факторів процесу відносять: норму висіву зерна; спосіб висіву зерна; тривалість світлового дня; освітленість на вегетаційних поверхнях; тривалість вирощування ГЗК.

Основні технологічні параметри процесу вирощування ГЗК наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні технологічні параметри процесу вирощування ГЗК

Назва показника	Значення показника
Місце проведення досліджень	УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого
Основна злакова культура	Ячмінь
Спосіб оброблення насіння	Опромінювання бактерицидними лампами, або змочування в 0,01 % розчині марганцевокислого калію
Тривалість змочування, діб	1
Рідина для змочування насіння	вода
Температура рідини для змочування насіння, °C	18...20
Температура повітря при пророщуванні насіння, °C	20...22
Освітленість при пророщуванні насіння, лк	затемнення
Норма висіву сухого зерна на 1 м ² , кг	5...6
Характеристика очищених стоків для використання як поживного розчину:	
водневий показник, рН	5,5...7,5
ХСК, мг/л	1000...2000
БСК, мг/л	200...500
вміст завислих речовин, мг/л	до 8000
вміст біогенних елементів, мг/л:	
азоту загального	270...470
азоту аміачного	до 500
фосфору	50...70
калію	100...200
Тваринницькі стоки	Після біоочищення
Витрати поживного розчину, л/м ³ · добу	6...10
Температура повітря в гідропонікумі, °C	20...25
Відносна вологість повітря в гідропонікумі, %	65...85
Освітленість при вирощуванні рослин, лк	800...1000
Тривалість світлового дня, год	16...20
Тривалість вирощування зелених проростків, діб	7...8
Спосіб зрошення	полив або підтоплення щодобово
Розміщення вегетаційних поверхонь	багатоярусне

Дослідження проводили на гнойових стоках молочно-товарної ферми великої рогатої худоби. Біологічному очищенню на макетному зразку технологічної лінії піддавали рідку фракцію гнойових стоків після відстоювання у блоку ємностей. Метанову ферментацію стоку проводили в метантенку. Експозиція зброжування становила 5 діб за температурного режиму 40...45 °С. Зброжений стік надходив в аераційну ємність, де піддавався аерації стисненим повітрям протягом 2,5 доби.

Попередньо очищений стік піддавався доочищенню на біофільтрі, після – на гідропонному обладнанні. Використана культура – ячмінь, норма посіву 5 кг/м².

Якість гнойових стоків та гідропонного зеленого корму визначали за результатами біохімічних аналізів. Показники та методи їх визначення наведено в таблиці 2.

Під час проведення експериментальних досліджень точність отриманих результатів перевіряли за допомогою загальних методів статистичної оцінки, де числові значення:

$\bar{Y}$ – середнє значення вимірюваної величини;

$$\bar{Y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n},$$

σ – середнє квадратичне відхилення величини;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta y_1^2 + \Delta y_2^2 + \dots + \Delta y_n^2}{n}},$$

де n – кількість вимірів;

$y_1 - y_2 - y_n$ – значення,

$$\Delta z = y_z - \bar{Y}.$$

Δ_{lim} – гранична помилка:

$$\Delta_{lim} = \pm 3\sigma$$

Таблиця 2 – Показники якості гнойових стоків, гідропонного зеленого корму та методи їх визначення

Показники	Метод визначення
1. Гнойові стоки:	Методики виконання вимірювань показників у стічних водах [20]
Водневий показник, рН	Методика виконання вимірювань ЛЖК, лужності і азоту амонійних солей в мулових рідинах зброжених осадів – РНД 17-05-2002 [20, додаток 17]
ХСК, мг/л	Методика виконання вимірювань хімічної потреби в кисні (ХПК) – РНД 16-05-2002 [20, додаток 16]
БСК ₅ , мг/л	Методика виконання вимірювань біологічної потреби в кисні (БПК) – РНД 05-05-2002 [20, додаток 5]
Вміст, мг/л азоту	Методика виконання вимірювань загального азоту – РНД 23-05-2002 [20, додаток 23]
фосфору	Методика виконання вимірювань загального фосфору – РНД 26-05-2002 [20, додаток 26]
Вміст завислих речовин, мг/л	Методика виконання вимірювань масової концентрації завислих речовин – РНД 03-05-2002 [20, додаток 3]
Колі-титр	Методика виконання вимірювань санітарно-мікробіологічних показників – РНД 27-05-2002 [20, додаток 27]
2. Гідропонний зелений корм	Чинні стандарти
Сира зола, г/кг	ДСТУ ISO 5984:2004 Корми для тварин. Визначення вмісту сирової золи (ISO 5984:2002, IDT)
Сирий протеїн, г/кг	ДСТУ 7169:2010 Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення вмісту азоту і сирового протеїну
Сирий жир, г/кг	ДСТУ ISO 6492:2003 Корми для тварин. Визначення вмісту жиру
Сира клітковина, г/кг	ДСТУ 8844:2019 Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення сирової клітковини
Кальцій, г/кг	ДСТУ ISO 6490-1:2004 Корми для тварин. Визначення вмісту кальцію. Частина 1. Титриметричний метод
Фосфор, г/кг	ДСТУ ISO 6491:2004 Корми для тварин. Визначення вмісту фосфору. Спектриметричний метод (ISO 6491:1998, IDT)

Для дослідження залежності виходу зеленої маси ГЗК від тривалості вирощування і температури з площі 0,01 м² відбирали проби 5 разів з періодичністю через 4, 5, 6, 7, 7, 5, 8 діб за температури вирощування 20 °С і 25 °С, відповідно. За середніми значеннями будували графік виходу зеленої маси, залежно від тривалості вирощування і температури.

Для визначення впливу норми висіву на врожайність ГЗК, залежно від температури вирощування, з площі 0,01 м² відбирали проби 5 разів по діагоналі гідропонного піддона через 7 діб вирощування за норми посіву насіння 4, 4,5, 5, 5,5, 6 кг зерна ячменю на 1 м² за температури вирощування 20 °С і 25 °С відповідно.

За середнім значенням, привівши до 1 м² (отриманий результат ділимо на 0,01), будували графік впливу норми висіву на врожайність ГЗК, залежно від температури.

Результати дослідження та обговорення. На основі аналізу існуючих і перспективних технологій очищення тваринницьких стоків і результатів досліджень біотехнологічних процесів перероблення продукції тваринництва розроблено комплексну біотехнологію утилізації рідких відходів тваринницьких ферм (рис.1).

Устаткування очищення стоків складається з анаеробно-аеробного ферментатора, біофільтра, блоку ємностей та систем теплозабезпечення і аерації (рис 2).

Анаеробно-аеробний ферментатор є циліндричною ємністю, розділеною на дві основні частини – метантенк (2) і аераційний відсік (1). Навколо нижньої частини метантенку виконано водяну оболонку для забезпечення нагрівання. Оболонка має два патрубки для подачі і відведення теплоносія – гарячої води. В нижній конусній частині метантенку розташовані патрубки з кранами для подачі гнойових стоків, видалення зброженого осаду та відбору проб гнойових стоків для хімічного та мікробіологічного аналізів. У верхній частині метантенк звужується, утворюючи з циліндричною оболонкою ферментатора аераційну ємність, і має два патрубки для відведення утвореного біогазу і переливання зброженої маси в аераційну ємність, яка має три відсіки, з'єднані між собою. Конструкція аераційної ємності забезпечує послідовне надходження зброженого стоку із метантенку спочатку в перший відсік, а потім в інші, звідки проаеровані стоки подаються на біофільтр. У першому і другому відсіках відбувається інтенсивна аерація за допомогою повітря, яке надходить від компресорної установки через патрубок з краном і труби з отворами, прокладеної по дну цих відсіків. На зовнішній боковій поверхні третього аераційного відсіку знаходяться два патрубки: зверху – для переливання попередньо очищених стоків в біофільтр і знизу (з краном) – для видалення надлишкового активного мулу.

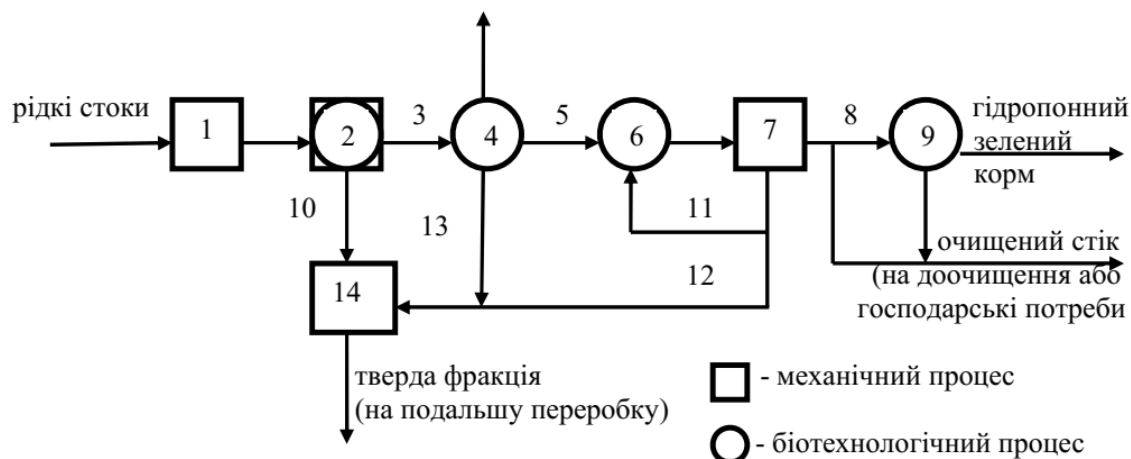


Рис. 1. Схема комплексної біотехнології утилізації рідких відходів тваринницьких ферм:

1 – відокремлення механічних домішок; 2 – витримування стоку; 3 – рідка фракція; 4 – метанова ферментація стоку; 5 – зброжений стік; 6 – аерація стоку; 7 – відстоювання стоку; 8 – очищений стік; 9 – утилізація стоку на гідропонному обладнанні; 10 – осад з відстійника; 11 – активний мул; 12 – надлишковий активний мул; 13 – зброжений осад з метантенка; 14 – зневоднення осаду.

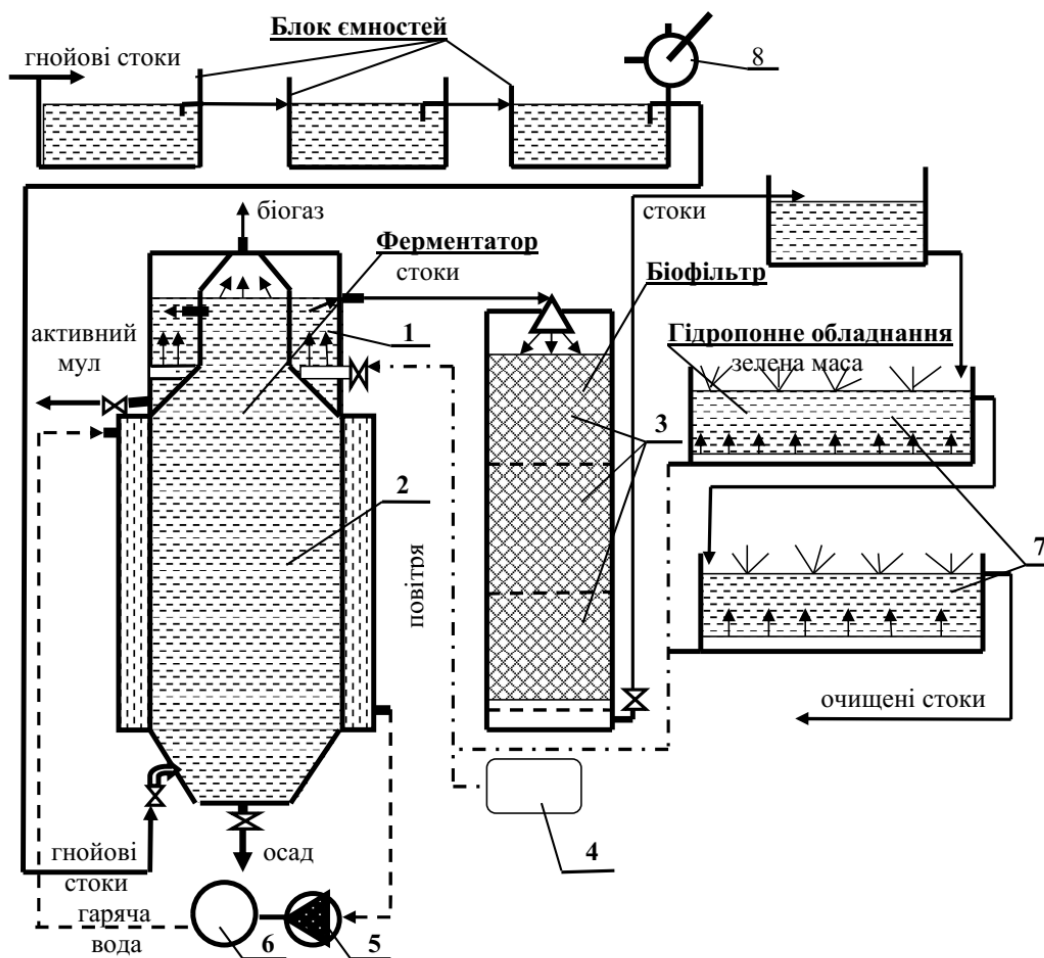


Рис. 2. Технологічна схема процесу утилізації гнійових стоків:

1 – аераційна ємність; 2 – метантенк; 3 – фільтруючий елемент; 4 – компресорна установка;
5 – циркуляційний насос; 6 – електронагрівач; 7 – вегетативні ємності; 8 – ручний насос.

Біофільтр є металевою ємністю у вигляді призми з квадратною основою. Зверху ємність за допомогою болтових з'єднань і гумової прокладки герметично закривається кришкою, яка із зовнішньої сторони має патрубок для подачі попередньо очищених стоків у біофільтр, а з внутрішньої – розподільний пристрій для розподілу по поверхні фільтрувального елементу (3) рідини, яка надходить на доочищення. Знизу в біофільтр встановлено пластину з отворами для утримання фільтрувального елементу і патрубок з краном для відведення очищеного стоку. Крім того, на боковій стінці біофільтру є два патрубки із заглушками, що забезпечує можливість відбирати проби для хімічних і мікробіологічних аналізів на різних рівнях фільтрувального елементу, а за наявності трьох різних таких елементів – після кожного з них.

Такі конструкції анаеробно-аеробного ферментатора і біофільтра дають змогу відпрацювати режими зброджування, аерації та біофільтрації за зміни основних технологічних параметрів у широких межах.

Для забезпечення нормального технологічного процесу очищення стоків ферментатор і біофільтр доукомплектовані блоком ємностей та системи теплозабезпечення і аерації.

Блок ємностей – це металева рама, на якій встановлено одна над одною три ємності місткістю по 0,5 м³ кожна. На стояку рами змонтовано ручний насос для перекачування стоків (8).

Система теплозабезпечення призначена для підтримання необхідної температури процесу анаеробного бродіння і складається із серійного обладнання: електронагрівача (6)

потужністю 15 кВт і водяного насоса з електроприводом, який використовується як циркуляційний насос (6). Система може забезпечити нагрівання теплоносія (води) до 85 °С.

Система аерації призначена для забезпечення надходження повітря до аераційних відсіків ферментатора і є серійною компресорною установкою СО – 243 (4) продуктивністю 32 ± 2 м³ повітря за годину і робочим тиском до 6 кг/см².

Гідропонне обладнання – це стаціонарна двоярусна конструкція з рухомими гідропонними піддонами (вегетативними ємностями) (7), яка обладнана такими системами: подачі і відведення поживного субстрату; штучного фітоопромінення; аерації; автоматичного керування.

Гідропонний піддон (вегетативна ємність) є зварною ємністю прямокутної форми з опорними роликами, яка обладнана вкладеним шаром гідропонного волокнистого матеріалу і сітчастим піддоном для висіву насіння. Кількість таких піддонів – 20 шт, загальною площею 10 м². Гідропонний піддон обладнано зливним і переливним патрубками, за допомогою яких надлишок стоків надходить в збірну ємність, розташовану під піддонами. Гідропонні піддони колісними парами встановлюються на горизонтальні рейкові напрямні.

Система автоматичного керування забезпечує роботу механізмів установки в ручному і автоматичному режимах.

Біохімічний склад гнойових стоків ферми великої рогатої худоби та поживного субстрату після попереднього очищення наведено в таблиці 3.

У результаті очищення стоків тваринницької ферми за допомогою біологічного очищення з використанням анаеробної і аеробної аерації і біофільтра значення водневого показника (рН) зменшилося з 8,61 до 8,2, значення ХСК зменшилося в 2,7 раза (з 3282 мг/л до 1198 мг/л), БСК₅ – в 9,9 раза (з 2177 мг/л до 220 мг/л), вміст азоту – в 3 раза (з 955 мг/л до 319 мг/л), вміст фосфору зменшився в 1,4 раза (з 78 мг/л до 55 мг/л). У результаті використання біофільтра вміст завислих речовин зменшився в 13,8 раза (з 1520 мг/л до 110 мг/л). До очищення колі-титр становив 10⁻⁴, після очищення стоків кишкової палички не виявлено.

Для зелених культур виробники рекомендують такий вміст основних поживних елементів у базовому штучно приготовленому розчині для гідропонного вирощування кормів, мг/л: взимку: N 220, P 50–70, K 350, Mg 80, Ca 100–120; влітку: N 220, P 50–70, K 220, Mg 80 (120), Ca 100–120 [21].

Згідно з правилами охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами, для комунальних споруд повного біологічного очищення стічних вод встановлюються такі нормативи гранично допустимого вмісту забруднювальних речовин (мг/л): біохімічне споживання кисню (БСК₅) – не більш як 15; ХСК – не більш як 80; завислих речовин – не більш як 15 [22].

Отже, очищені стоки тваринницької ферми не можна використовувати для прямого зливання у водойми. Однак їх можна використовувати для технічних цілей та як базовий розчин для вирощування гідропонних зелених кормів.

Таблиця 3 – Показники, які характеризують склад гнойових стоків тваринницької ферми в процесі їх очищення

Назва показника	Значення показника								
	до очищення			після попереднього очищення			очищених стоків при вирощуванні ГЗК		
	середнє $\bar{Y}$	середнє квадратичне відхилення, σ	гранична помилка $\pm 3 \sigma$	середнє $\bar{Y}$	середнє квадратичне відхилення, σ	гранична помилка $\pm 3 \sigma$	середнє $\bar{Y}$	середнє квадратичне відхилення, σ	гранична помилка $\pm 3 \sigma$
Водневий показник, рН	8,61	0,09	0,27	8,2	0,1	0,3	7,6	0,76	2,28
ХСК, мг/л	3282	75,5	226,5	1198	25,16	75,48	746	13,43	40,29
БСК ₅ , мг/л	2177	41,4	124,2	220	2,64	7,92	96	1,34	4,02
Вміст, мг/л азоту	955	14,3	42,9	319	4,15	12,45	152	2,43	7,29
фосфору	180	2,2	6,6	55	0,8	2,6	7	0,12	0,36
Вміст завислих речовин, мг/л	1520	28,9	86,7	110	1,65	4,95	70	1,26	3,78

Під час вирощування ГЗК стоки проходять доочищення (табл. 3). Водночас значення водневого показника (рН) зменшилося з 8,2 до 7,6, значення ХСК – в 1,6 раза (з 1198 мг/л до 746 мг/л), БСК₅ – в 2,3 раза (з 220 мг/л до 96 мг/л), вміст азоту – в 2 рази (з 319 мг/л до 152 мг/л), вміст фосфору – в 7,8 раза (з 55 мг/л до 7), вміст завислих речовин зменшився в 1,6 раза (з 110 мг/л до 70 мг/л).

Аналізуючи результати дослідження хімічного складу гідропонного зеленого корму з ячменю, отриманого при вирощуванні, де очищені стоки тваринницької ферми використовуються як базовий розчин, і порівнявши з результатами аналогічного корму, який вирощували на штучно виготовленому базовому розчині (табл. 4), встановлено, що отриманий корм відповідає хімічному складу ГЗК, який вирощувався на штучно приготуваному базовому розчині.

За результатами дослідження виходу зеленої маси залежно від тривалості вирощування ГЗК і температури (табл. 5, рис. 3) встановлен-

но, що оптимальна тривалість вирощування 7 діб. Різниця в прирості зеленої маси між 6 і 7 добою за температури вирощування 20 °С становить 3,5 кг/м², між 7 і 8 добою вирощування приріст – 2 кг/м². За температури вирощування 25 °С приріст зеленої маси між 6 і 7 добою – 5 кг/м², між 7 і 8 добою 4 кг/м². Отже, підвищення температури з 20 °С до 25 °С позитивно впливає на вихід зеленої маси.

За результатами дослідження виходу зеленої маси залежно від норми висіву насіння, для отримання ГЗК через 7 діб (табл. 6, рис. 4) оптимальна норма висіву насіння ячменю становить 5 кг/м². За температури вирощування 20 °С приріст зеленої маси при нормі між 4 і 5 кг/м² – 10 кг/м², а між 5 і 6 кг/м² приріст становить 4 кг/м². За температури вирощування 25 °С за норми висіву між 4 і 5 кг/м² приріст зеленої маси – 11 кг/м², між 5 і 6 кг/м² – 3 кг/м². Отже, підвищення температури з 20 °С до 25 °С позитивно впливає на вихід зеленої маси за оптимальної норми висіву насіння ячменю 5 кг/м².

Таблиця 4 – Хімічний склад ГЗК із зерна ячменю

Назва показника	Значення показника				
	середнє $\bar{Y}$	середнє квадратичне відхилення, σ	гранична помилка $\pm 3 \sigma$	ГЗК (ячмінь) [23]	ячмінь фуражний [24]
Сира зола, г/кг	34	0,44	1,32	33	-
Сирий протеїн, г/кг	129	1,68	5,04	136,87	106,15
Сирий жир, г/кг	58	0,93	2,79	-	23,56
Сира клітковина, г/кг	133	2,0	6,0	123,62	48,26
Кальцій, г/кг	1,23	0,02	0,06	1,47	0,79
Фосфор, г/кг	4,1	0,07	0,21	4,42	3,85
Каротин, мг/кг	18,6	0,26	0,78	21,12	3,25
Нітрати, мг/кг	68	1,36	4,08	91,2	-

Таблиця 5 – Вихід зеленої маси залежно від тривалості і температури вирощування

Тривалість вирощування, діб	Вихід зеленої маси за температури вирощування 25 °С, кг/м ²			Вихід зеленої маси за температури вирощування 20 °С, кг/м ²		
	$\bar{Y}$	σ	$\pm 3\sigma$	$\bar{Y}$	σ	$\pm 3\sigma$
4	35	0,56	1,68	33	0,53	1,59
5	40,5	0,81	2,43	38	0,61	1,83
6	47	0,66	1,98	45	0,81	2,43
7	52	0,83	2,49	48,5	0,92	2,76
7,5	55	0,83	2,49	50	0,7	2,1
8	56	1,01	3,03	50,5	0,81	2,43

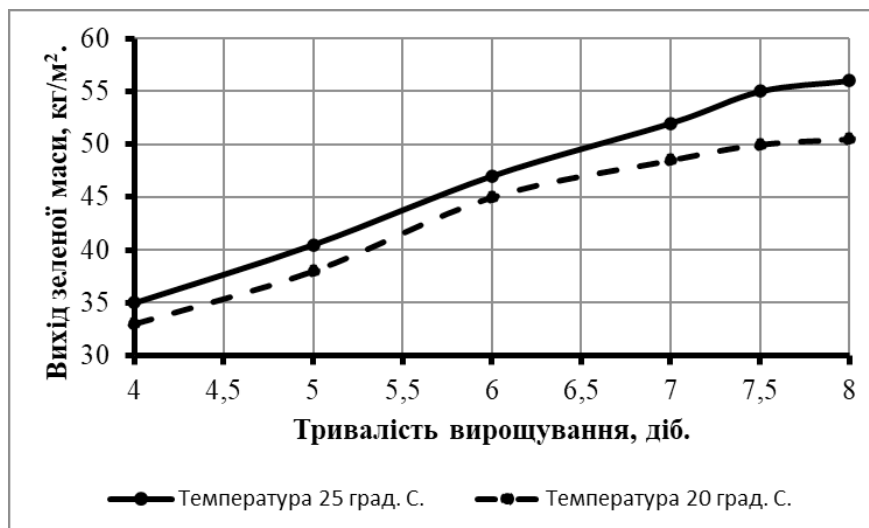


Рис. 3. Вихід зеленої маси залежно від тривалості і температури вирощування.

Таблиця 6 – Вплив норми висіву на вихід зеленої маси залежно від температури вирощування

Норма висіву, кг/м²	Вихід зеленої маси при температурі вирощування 25 °C, кг/м²			Вихід зеленої маси при температурі вирощування 20 °C, кг/м²		
	$\bar{Y}$	σ	$\pm 3\sigma$	$\bar{Y}$	σ	$\pm 3\sigma$
4	41	0,57	1,71	39	0,7	2,1
4,5	47	0,85	2,55	45	0,68	2,04
5	52	0,78	2,34	49	0,69	2,07
5,5	54	0,86	2,58	52	0,89	2,67
6	55	0,82	2,46	53	0,84	2,52

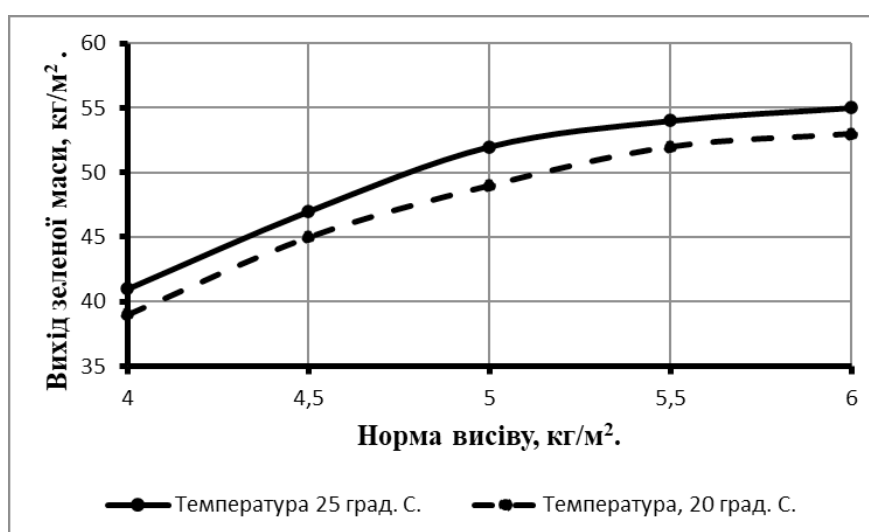


Рис. 4. Вплив норми висіву на вихід зеленої маси залежно від температури вирощування.

Висновки. Результати проведених досліджень показали, що рідка фракція вихідних гнойових стоків тваринницьких ферм без попереднього очищення не може використовуватись як поживний розчин для вирощування гідропонних зелених кормів через високу концентрацію забруднень. Водночас гнойові стоки, які пройшли попереднє очищення шляхом метанової ферментації, аерації і біофільтрації за вмістом хімічних речовин наближаються до стандартного розчину і можуть бути використані для вирощування ГЗК. У результаті попереднього очищення стоків тваринницької ферми вміст азоту зменшився з 955 мг/л до 319 мг/л (рекомендовано азоту в базовому розчині 220 мг/л), вміст фосфору зменшився з 78 мг/л до 55 мг/л (рекомендовано 50–70 мг/л).

Встановлено, що стоки в процесі вирощування гідропонного зеленого корму проходять доочищення. В результаті значення водневого показника (рН) зменшилося з 8,61 до 7,6, значення ХСК зменшилося з 1198 мг/л до 746 мг/л, БСК₅ – з 220 мг/л до 96 мг/л, вміст азоту – з 319 мг/л до 152 мг/л, вміст фосфору – з 55 мг/л до 7 мг/л, вміст завислих речовин зменшився з 110 мг/л до 70 мг/л.

Очищені стоки тваринницької ферми після вирощування гідропонного зеленого корму можна використовувати для технічних цілей, однак не можна використовувати для прямого зливання у водойми, оскільки значення ХСК стоку 746 мг/л, а БСК₅ – 96 мг/л, вміст завислих речовин – 70 мг/л перевищують допустимі значення.

Встановлено, що отриманий зелений корм відповідає за хімічним складом ГЗК, який вирощувався на штучно приготуваному базовому розчині.

За результатами дослідження виходу зеленої маси, залежно від тривалості вирощування ГЗК і оптимальної норми висіву, встановлено, що оптимальною є тривалість вирощування 7 діб, а оптимальна норма висіву – 5 кг/м².

Отже, результати досліджень свідчать про доцільність використання комбінованих технологій, що включають процеси мікробіологічної нестерильної ферментації та фітоочищення. Одержана в такий спосіб біомаса може використовуватись як гідропонний зелений корм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Болтянська Н.І., Дереза С.В. Аналіз причин захворювання корів на субклінічний мастит. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Мат. II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 205–209.

2. Дереза О.О. Залежність продуктивності тварин від показників якості питної води. Меліорація та водовикористання. Професійна освіта: стан та перспективи: матеріали XIII наук.-практ. конф. Якимівка, 2021. С. 50–54.

3. Дереза С.В. Визначення основних заходів енергоефективного функціонування агропромислового комплексу України: матер. I міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 426–431.

4. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: Підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти / Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

5. Методи інтенсифікації процесів одержання біогазу / Р.В. Скляр та ін. The third international scientific congress of scientists of Europe. 2019. 56 с.

6. Болтянська Н.І., Болтянський Б.В., Дереза С.В. Проектування та монтаж техніки агропромислового виробництва»: курс лекцій. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 196 с.

7. Goncharuk I.V. Biogas production in the agricultural sector – a way to increase energy independence and soil fertility. Agrosvit. 2020. No. 15. P. 18–29.

8. Kaletnik G. Production and use of biofuels: Second edition, supplemented: textbook. Vinnytsia: LLC “Nilan-Ltd”, 2018. 336 p.

9. Process Design of the Biogas Upgrading to Biomethane Using Green Hydrogen / N. Pierro et al. Chemical Engineering Transactions. 2023. No 100.

10. Машиновикористання техніки в тваринництві: курс лекцій (Частина 2) / Н.І. Болтянська та ін. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 160. 7 с.

11. Скляр Р.В., Скляр О.Г., Болтянський Б.В. Машиновикористання техніки в тваринництві: навч. посіб. з виконання лабораторних робіт. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 180 с.

12. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Механізовані технології в виробництві сільськогосподарської продукції: посіб.-практикум. Мелітополь: Люкс, 2019. 303 с.

13. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research / B. Boltianskyi et al. Processes, 2021. 9 (7). 1144 p.

14. Дереза О.О., Болтянська Н.І., Дереза С.В. Огляд і напрямки розвитку сучасних технологій очищення стічних вод свиногокомплексів: матер. I міжнар. наук.-практ. конф., «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» 0,1-26 листопада 2021 р. Таврійський державний агротехнічний університет ім. Дмитра Моторного, 2021. С. 154–161.

15. Мальований М.С., Петрушка І.М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами: монографія. М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. Політехніка». Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2012. 180 с.

16. Маркова Н.В., Хоненко Л.Г., Панфілова А.В. Технологія виробництва рослинних кормів: методичні рекомендації до самостійного вивчення навчальної дисципліни для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 204 «ТВППТ» денної форми навчання. Миколаївський національний аграрний університет. м. Миколаїв. 2020. 99 с.

17. Гідропонні зелені корми. 2011. URL: <https://studfile.net/preview/7376036/page:32/>

18. Воронцов О.О. Стічні води тваринницьких комплексів, як субстрат для анаеробної ферментації. Наукові праці НУХТ, Т. 22. No 16. 2016. С. 52–65.

19. Значення БСК5 у водоймах з різним ступенем забрудненості. 2019. URL: <https://studfile.net/preview/9807759/page:92/>

20. Про затвердження методик виконання вимірювань показників у стічних водах: наказ № 107 від 28.05.2004. Державний комітет України з питань житлово-комунального господарства. 2004. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107508-04#Text>

21. Садовська Н.П., Попович Г.Б., Симочко В.В., Шейдик К.А. Сучасні технології вирощування овочевих культур у відкритому та закритому ґрунті: методичні рекомендації до лабораторних робіт та самостійної роботи. Ужгород: Видавництво УЖНУ «Говерла», 2023. 124 с.

22. Умови скидання зворотних вод у водні об'єкти. URL: https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Умови_скидання_зворотних_вод_у_водні_об%27єкти

23. Чугуєвець В. Гідропонний зелений корм. Свіжа трава протягом цілого року. 2024. 18 с. URL: <https://propozitsiya.com/ua/gidrotehnologiya-u-virishenni-problemi-kormiv>

24. Гідропонний зелений корм. Зниження вмісту фітинової кислоти. 2017. URL: <https://ukrprolife.prom.ua/ua/a317661-gidroponnyj-zelenyj-korm.html>

REFERENCES

1. Boltyans'ka, N.I., Dereza, S.V. (2020). Analiz prychyn zahvorjuvannja koriv na subklinichnyj mastyt [Analysis of the causes of cows' disease with sub-clinical mastitis]. *Tehnicne zabezpechennja innovacijnyh tehnologij v agropromyslovomu kompleksi: Mat. II Mizhnar. nauk.- prakt. konf. [Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: Mat. II International Scientific-Practical Conference]*. Melitopol: TSATU, pp. 205–209. (in Ukrainian).

2. Dereza, O.O. (2021). Zalezhnist' produktyvnosti tvaryn vid pokaznykiv jakosti pytnoi' vody [Dependence of animal productivity on drinking water quality indicators]. *Melioracija ta vodovykorystannja [Reclamation and water user]*. Profesijna osvita: stan ta perspektyvy: materialy HIII nauk.-prakt. konf. [Vocational education: status and prospects: materials of the 13th scientific-practical conference]. Yakymivka, pp. 50–54. (in Ukrainian).

3. Dereza, S.V. (2020). [Determination of the main measures for the energy-efficient functioning of the agro-industrial complex of Ukraine: materials of the 1st International Scientific-Practical Internet Conference "Technical Support of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex"]. Melitopol: TSATU, pp. 426–431. (in Ukrainian).

4. Boltyans'kyj, B.V., Sklyar, O.H., Sklyar, R.V. (2020). Enerho- ta resursozberezhennja v tvarynnytstvi: pidruchnyk dlya zdobuvachiv vyshchoyi osvity zakladiv vyshchoyi osvity [Energy and resource conservation in livestock farming: a textbook for higher education students of higher education institutions]. K.: Publishing House "Condor", 410 p. (in Ukrainian).

5. Sklyar, R.V., Sklyar, O.H., Boltyans'ka, N.I., Boltyans'kyj, B.V., Dereza, S.V. (2019). Metody intensyfikatsiyi protsesiv oderzhannja biohazu [Methods of intensification of biogas production processes]. The third international scientific congress of scientists of Europe. 56 p. (in Ukrainian).

6. Boltyans'ka, N.I., Boltyans'kyj, B.V., Dereza, S.V. (2020). Proektuvannja ta montazh tekhniky ahropromyslovoho vyrobnytstva»: kurs lektysij [Design and installation of agricultural production equipment: course of lectures]. Melitopol: Publishing and Printing Center "Lux", 196 p. (in Ukrainian).

7. Goncharuk, I.V. (2020). Biogas production in the agricultural sector – a way to increase energy independence and soil fertility". *Agrosvit*, no. 15, pp. 18–29 (in English).

8. Kaletnik G. (2018). Production and use of bio-fuels: Second edition, supplemented: textbook. Vinnytsia: LLC "Nilan-Ltd", 336 p. (in English).

9. Pierro, N., Giuliano, A., Giocoli, A., Barletta, D., De Bari, I. 2023. Process Design of the Biogas Upgrading to Biomethane Using Green Hydrogen. *Chemical Engineering Transactions*, no. 100.

10. Boltyans'ka, N.I., Sklyar, O.H., Sklyar, R.V., Boltyans'kyj, B.V., Dereza, S.V. (2019). Mashynovykorystannja tekhniky v tvarynnytstvi: kurs lektysij (Chastyina 2) [Mechanical use of equipment in livestock farming: a course of lectures (Part 2)]. Melitopol: TDATU, 160. 7 p. (in Ukrainian).

11. Sklyar, R.V., Sklyar, O.H., Boltyans'kyj, B.V. (2019). Mashynovykorystannja tekhniky v tvarynnytstvi: navchal'nyy posibnyk z vykonannja laboratornykh robot [Mechanical use of equipment in livestock farming: a textbook for performing laboratory work]. Melitopol: TDATU, 180 p. (in Ukrainian).

12. Sklyar, O.H., Sklyar, R.V. (2019). Mekhanizovani tekhnolohiyi v vyrobnytstvi sil'skohospodars'koyi produktsiyi: posibnyk-praktykum [Mechanized technologies in the production of agricultural products: manual-workshop]. Melitopol: Lux, 303 p. (in Ukrainian).

13. Boltianskyi, B., Sklyar, R., Boltianska, L., Grigorenko, S., Syrotyuk, S., Jakubowski, T. (2021). The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes*, 9 (7), 1144 p. (in English).

14. Dereza, O.O., Boltyans'ka, N.I., Dereza, S.V. (2021). Ogljad i naprjamky rozvytku suchasnyh teh-

nologij ochyshhennja stichnyh vod svynokompleksiv: mater. I mizhnar. nauk.-prakt. konf., «Tehniche zabezpechennja innovacijnyh tehnologij v agropromyslovomu kompleksii» 0,1-26 lystopada 2021 r [Review and directions of development of modern technologies for wastewater treatment of pig farms: materials of the 1st international scientific and practical conference, "Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex" November 0, 1-26, 2021]. Tavrichesky State Agrotechnical University named after Dmitry Motorny, pp. 154–161. (in Ukrainian).

15. Mal'ovanyy, M.S., Petrushka, I.M. (2012). Ochyshhennja stichnyh vod pryrodnyimi dyspersnyimi sorbentami: monografija [Wastewater treatment with natural dispersed sorbents: monograph]. M-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrai'ny, Nac. un-t «Lviv. Politehnika» [Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, National University "Lviv. Polytechnic". L.: Publishing House of Lviv]. Polytechnics, 180 p. (in Ukrainian).

16. Markova N. V., Khonenko L. H., Panfilova A.V. (2020). Tekhnolohiya vyrobnytstva roslynnykh kormiv: metodychni rekomendatsiyi do samostijnoho vyvchennya navchal'noyi dystsypliny dlya zdobuvachiv vyshchoyi osvity stupenya «bakalavr» spetsial'nosti 204 «TVPPPT» dennoyi formy navchannya [Plant feed production technology: methodological recommendations for independent study of the academic discipline for applicants for the degree of "bachelor" of higher education in specialty 204 "TVPPPT" full-time study]. Mykolaivskyy natsional'nyy ahrarnyy universytet [Mykolaiv National Agrarian University]. Mykolaiv, 99 p. (in Ukrainian).

17. Hidroponni zeleni kormy [Hydroponic green fodder]. 2011. Available at: <https://studfile.net/preview/7376036/page:32/> (in Ukrainian).

18. Vorontsov, O.O. (2016). Stichni vody tvarynyts'kykh kompleksiv, yak substrat dlya anaerobnoyi fermentatsiyi [Wastewater from livestock complexes as a substrate for anaerobic fermentation]. Scientific Works of the National University of Chemistry and Technology, Vol. 22, no. 16, pp. 52–65. (in Ukrainian).

19. Znachennya BSK5 u vodoymakh z riznym stupenem zabrudnenosti [The value of BOD5 in water bodies with different degrees of pollution]. 2019. Available at: <https://studfile.net/preview/9807759/page:92/> (in Ukrainian).

20. Pro zatverdzhennya metodyk vykonannya vymiryuvan' pokaznykiv u stichnykh vodakh: nakaz № 107 vid 28.05.2004. Derzhavnyy komitet Ukrainy z pytan' zhytlovo-komunal'noho hospodarstva [On approval of methods for measuring indicators in wastewater: Order No. 107 of 28.05.2004. State Committee of Ukraine for Housing and Communal Services]. 2004. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107508-04#Text> (in Ukrainian).

21. Sadovs'ka N.P., Popovych H.B., Symochko V.V., Sheydyk K.A. (2023). Suchasni tekhnolohiyi vyroshchuvannya ovochevykh kul'tur u vidkrytomu ta zakrytomu grunti: metodychni rekomendatsiyi do

laboratorykh robot ta samostiyanoi roboty [Modern technologies for growing vegetable crops in open and closed soil: methodological recommendations for laboratory work and independent work]. Uzhhorod: Publishing House of UzhNU "Hoverla", 124 s. (in Ukrainian).

22. Umovy skydannya zvorotnykh vod u vodni ob'yekty [Conditions for discharging return water into water bodies]. Available at: https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Умови_скидання_зворотних_вод_у_водні_об'єкти (in Ukrainian).

23. Chuhuyevets, V. (2024). Hidroponnyy zelenyy korm [Hydroponic green fodder]. Svizha trava protyahom tsiloho roku [Fresh grass throughout the year]. 18 p. Available at: <https://propozitsiya.com/ua/gidrotehnologiya-u-virishenni-problemi-kormiv> (in Ukrainian).

24. Hidroponnyy zelenyy korm [Hydroponic green fodder]. Znyzhennya vmistu fytynovoy kysloty [Reducing phytic acid content]. 2017. Available at: <https://ukrprolife.prom.ua/ua/a317661-gidroponnyj-zelenyj-korm.html> (in Ukrainian).

Comprehensive biotechnology of livestock farm wastewater purification

Senchuk M.M.

The environmental situation in the country, domestic and foreign experience of biologisation of agriculture indicate the need to develop and implement post-industrial bioconversion technologies and their integrated use. Currently, the problem of treating concentrated wastewater, which also includes livestock farm wastewater, is becoming increasingly important in addressing environmental issues.

The use of livestock wastewater on irrigation fields and composting does not allow for the full range of organic matter available in them. On the other hand, the current methods of treating and disinfecting these wastewaters do not provide the required degree of purification. Insufficiently purified wastewater (the degree of purification during aerobic treatment is 55–60% in terms of biochemical oxygen consumption), emergency discharges from manure storage facilities, storm water discharges from the complex's territories, and excessive irrigation rates all cause soil and water pollution, which is why improved purification technologies are needed. The most promising from an environmental point of view is a comprehensive technology for the purification of concentrated wastewater from livestock farms and complexes using anaerobic (methane) fermentation at the preliminary stage of purification followed by aerobic purification, as well as the use of a biofilter and hydroponic installation.

The research was conducted on the manure wastewater of a dairy cattle farm. For their purification, a plant consisting of an anaerobic-aerobic fermenter, a biofilter, a block of containers, heat supply and aeration systems was used. The liquid fraction of manure effluents was subjected to biological purification on a mock-up sample of the technological line after settling in the block of containers. Meth-

ane fermentation of the effluent was carried out in a methane tank. The fermentation exposure was 5 days at a temperature regime (process temperature 40...45 °C). The fermented effluent entered the aeration tank, where it was aerated with compressed air for 2,5 days. The pre-purified effluent was subjected to further purification on a biofilter, then – on hydroponic equipment, the crop was barley, the seeding rate was 5 kg/m², the duration of growing hydroponic green fodder was 7 days.

As a result of the purification of livestock farm wastewater using biological treatment using anaerobic and aerobic aeration and a biofilter, as well as hydroponic equipment, the pH value decreased from 8,61 to 7,6, the COD decreased from 3282 mg/l to 746 mg/l, the BOD₅ decreased from 2177 mg/l to 96 mg/l, the nitrogen content decreased from 955 mg/l to 152 mg/l, the phosphorus content decreased from 180 mg/l to 7 mg/l. As a result of the use of the biofil-

ter, the suspended solids content decreased from 1520 mg/l to 70 mg/l.

The purified wastewater from the livestock farm after growing hydroponic green fodder can be used for technical purposes and cannot be used for direct discharge into water bodies.

It was established that the obtained feed corresponds in chemical composition to the GZK, which was grown on an artificially prepared base solution, and the optimal duration of cultivation is 7 days at an optimal seeding rate – 5 kg/m². The obtained research results give grounds to conclude that it is expedient to use combined technologies that include the processes of microbiological non-sterile fermentation and phytopurification. The resulting biomass can be used as hydroponic green fodder.

Key words: waste disposal, microbiological fermentation, phytoremediation, hydroponic green fodder, livestock effluents.



Copyright: Сенчук М.М. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Сенчук М.М.

<https://orcid.org/0000-0001-9455-583X>