

## **КОМПЛЕКСНА БІОТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ.**

### **Постановка проблеми.**

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 спорівій формі. При цьому швидкість осідання часток основного класу (до 2 мм) із гною стоку становить близько 0,003 м/с, вологість гною - 77-98% (нижня межа вологості отримана при 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 %, причому частина сухої речовини в кількості 0,5-3,0 % знаходиться в розчинному стані. Зольність такого стоку становить 13-21%, а рН знаходиться 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 напруженою зсуву) та плинністю. При зміні 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 в теплу пору року зберігають свої властивості протягом 92 днів, бруцельозу – 108 та вірусу ящуру – 42 дні. В осінньо-зимовий період тривалість виживання хвороботворних бактерій різко збільшується і становить 5-6 місяців, а збудника туберкульозу – понад рік. Тому в екологічному та агроекологічному відношенні 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, і навіть нітратною формою, на яку припадає від 3 до 8 %. Дані форми добре засвоюються рослинами у перший же рік. 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].

В якості споруд для механічного очищення стоків застосовуються різні модифікації проціджувачів та первинних відстійників. До проціджувачів, призначених для затримання крупних фракцій гною, відносяться 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. При збільшенні діаметра отворів сит можливе отримання гною більш низької вологості при зниженні ефективності розділення на фракції. Тому після проціджувачів застосовують різні типи відстійників та освітлювачів. Найбільша ефективність роботи споруд досягається при тривалості відстоювання 2 години і становить 75% за завислими речовинами та 50% за показником біохімічного споживання кисню (БСК) [12].

Більш глибоке 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 рекомендований при хімічному споживанні кисню не більше 4,5 г/л, тоді тривалість аерації становить 4 доби (при нормі мулу 10-12 г/л), аеротенки-змішувачі, високонавантажувані аеротенки. При необхідності більш глибокого очищення освітленого стоку рекомендується застосування двоступінчастого очищення в аеротенках. У цьому випадку зниження концентрації БСК і ХСК становить в середньому 85-98%, а амонійного азоту - 60%. Однак ефективність очищення другого ступеня в 2-3 рази нижче ефективності першого, що пояснюється наявністю спектра органічних сполук, які важко окислюються. Ефект зниження органічних забруднень зростає при використанні попереднього очищення методу анаеробного або контактного зброджування. У цьому випадку максимальне зниження БСК становить 90% (при вихідному БСК 536 г/л), причому мулова рідина легше обробляється на другому ступені [14].

Процеси анаеробного очищення відбуваються в герметичних метантенках чи біореакторах, зроблених з бетону, металу або високоміцного пластика. Причому 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 в конструкції не потрібна складна система контролю умов середовища, то анаеробна очистка – більш дешевий метод [15].

Дослідження та практика свідчать, що в процесі метанового бродіння висококонцентрованих стічних вод відбувається зниження концентрації забруднень по БСК на 80-90%, а в деяких випадках, наприклад при зброджування стічних вод м'ясного виробництва, кількість органічних речовин знижується більше ніж на 95%. Це дає підстави розглядати процес метанового бродіння не лише як попередню стадію очистки, а і як основну, тому що після

цього залишається лише незначна частина забруднень, остаточне видалення яких можна здійснити аеробним окисленням.

На основі проведених досліджень процесів очистки гнойових стоків можна висунути гіпотезу: для вирощування гідропонного зеленого корму (ГЗК) замість мінеральних середовищ доцільно використовувати зброжені в анаеробному – аеробному процесі гнойові стоки з метою їх доочистки.

Використання гідропонного зеленого корму має такі переваги: - з 50 м<sup>2</sup> промислової площі можна одержати стільки ж корму за рік, скільки з 6 га, засіяних люцерною; - 1 м<sup>2</sup> 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 якого від 150 кг і до 10 т на добу [16, 17].

Тому вивчення технологічного процесу такої комплексної технології є актуальним.

**Метою дослідження** є розробка 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 далеко не всі домішки виробничих стоків можуть окислюватися біохімічним шляхом. Тоді вдаються до визначення хімічного споживання кисню (ХСК). Під ХСК розуміють кількість кисню, необхідного для окислення 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 окислена біохімічним шляхом. Вважається, що біологічне очищення доцільне при співвідношенні  $\text{БСК}/\text{ХСК} > 0,5$ . Вміст азоту і фосфору має перебувати в пропорції  $\text{БСК}:\text{N}:\text{P}=100:50:1$ , 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 становить 0,66 ( $> 0,5$ ), а БСК:N:P - 100:43,9: 0,82.

Підігрів гнойової маси в метантенку забезпечує система підігріву. Температура анаеробного процесу регулюється температурою теплоносія в водяній оболонці ферментатера. Тривалість анаеробного бродіння стоків регулюється добовим завантаженням гнойової маси.

При завантаженні в метантенк певного об'єму гнойових стоків аналогічний об'єм вже зброжених стоків із верхньої частини метантенка надходить в аераційний відсік. Тоді такий самий об'єм вже проаерованих стоків надходить в біофільтр для біофільтрації.

Аерація зброжених стоків відбувається за рахунок повітря, яке надходить з компресорної установки. Регулюючи подачу повітря, забезпечують необхідну продуктивність системи аерації.

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

В подальшому поживний субстрат використовується для досліджень з доочищення стоків шляхом вирощування гідропонного зеленого корму (ГЗК) 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 при штучному освітленні (6...7 діб). Для вирощування зеленого корму використовується зерно із схожістю не менше 80...92%, яке очищене від різних домішок і немає 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 відносяться: норма висіву зерна; спосіб висіву зерна; тривалість світлового дня; освітленість на вегетаційних поверхнях; тривалість вирощування ГЗК.

Далі наведено основні технологічні параметри процесу вирощування ГЗК (таблиця 1).

Таблиця 1 – Основні технологічні параметри процесу вирощування ГЗК.

| Назва показника                                                       | Значення показника                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Місце проведення досліджень                                           | УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого                                                                   |
| Основна злакова культура                                              | Ячмінь                                                                                       |
| Спосіб обробки насіння                                                | Опромінювання бактеріцидними лампами, або змочування в 0,01% розчині марганцевокислого калію |
| Тривалість змочування, діб                                            | 1                                                                                            |
| Рідина для змочування насіння                                         | вода                                                                                         |
| Температура рідини для змочування насіння, °С                         | 18...20                                                                                      |
| Температура повітря при пророщуванні насіння, °С                      | 20...22                                                                                      |
| Освітленість при пророщуванні насіння, лк                             | затемнення                                                                                   |
| Норма висіву сухого зерна на 1 м <sup>2</sup> , кг                    | 5...6                                                                                        |
| Характеристика очищених стоків для використання як поживного розчину: |                                                                                              |
| водневий показник, рН                                                 | 5,5...7,5                                                                                    |
| хімічне споживання кисню, мг/л                                        | 1000...2000                                                                                  |
| біохімічне споживання кисню, 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 біоочистки               |
| Витрати поживного розчину, л/м <sup>3</sup> · добу | 6...10                         |
| Температура повітря в гідропонікумі, °С            | 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                  | багаторівне                    |

Дослідження проводились на гнойових стоках молочно-товарної ферми великої рогатої худоби. Біологічній очистці на макетному зразку технологічної лінії піддавалась рідка фракція гнойових стоків після відстоювання у блоку ємностей. Метанова ферментація стоку проводилась в метантенку. Експозиція зброджування складала 5 діб при температурному режимі (температура процесу 40...45 °С). Зброжений стік надходив в аераційну ємність, де піддавався аерації стисненим повітрям протягом 2,5 доби.

Попередньо очищений стік піддавався доочистці на біофільтрі, після – на гідропонному обладнанні, культура – ячмінь, норма посіву 5 кг/м<sup>2</sup>.

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

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

| Показники                | Метод визначення                                                                                                                                 |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Гнойові стоки:</b> | Методики виконання вимірювань показників у стічних водах. [20].                                                                                  |
| Водневий показник, рН    | Методика виконання вимірювань ЛЖК, <u>лужності</u> 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 <sub>5</sub> , 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,  | Методика виконання вимірювань масової концентрації                                                                                               |

|                                    |                                                                                                              |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| мг/л                               | завислих речовин - РНД 03-05-2002 [20, додаток 3].                                                           |
| Колітир кишкової палички           | Методика виконання вимірювань санітарно-мікробіологічних показників - РНД 27-05-2002 [20, додаток 27].       |
| <b>2. Гідропонний зелений корм</b> | Діючі 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). |
| Каротин, мг/кг                     | ГОСТ 13496.17-95 Корма. Методи визначення каротину.                                                          |
| Нітрати, мг/кг                     | ГОСТ 13496.19-93 Корма, комбікорма, комбікормова сировина. Методи визначення вмісту нітратів і нітритів      |

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

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

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n},$$

$\sigma$  – 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,

$$\Delta_i = y_i - \bar{Y}.$$

$$\Delta_{lim} - \text{гранична помилка:} \quad \Delta_{lim} = \pm 3\sigma$$

Для дослідження залежності виходу зеленої маси ГЗК від тривалості вирощування і температури з площі 0,01 м<sup>2</sup> 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 побудовано графік виходу зеленої маси залежно від тривалості вирощування і температури (рис. 3).

Для визначення впливу норми висіву на врожайність ГЗК залежно від температури вирощування з площі 0,01 м<sup>2</sup> відбирали проби 5 разів по діагоналі гідропонного піддона через 7 діб вирощування при нормі посіву насіння 4, 4,5, 5, 5,5, 6 кг зерна ячменю на 1 м<sup>2</sup> за температури вирощування 20 °С і 25 °С відповідно.

За середнім значенням, привівши до 1 м<sup>2</sup> (отриманий результат ділимо на 0,01), побудовано графік впливу норми висіву на врожайність ГЗК залежно від температури (рис. 4).

## Результати дослідження.

**Анаеробно-аеробний ферментатор** (рис. 2) є циліндричною ємністю, розділеною на дві основні частини – метантенк (2) і аераційний відсік (1). Навколо нижньої частини метантенку виконано водяну оболонку для забезпечення нагріву водяної маси. Оболонка має два патрубки для подачі і відводу теплоносія – гарячої води. В нижній конусній частині метантенку розташовані патрубки з кранами для подачі гнойових стоків, для 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 утворюваного 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, в другий, і в третій, звідки проаеровані стоки подаються на біофільтр. В 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.

**Біофільтр** (рис. 2) є металевою ємністю у вигляді призми з квадратною основою. Зверху ємність за допомогою болтових з'єднань і гумової прокладки герметично закривається кришкою, яка з зовнішньої сторони має патрубок для подачі попередньо очищених стоків в біофільтр, а з внутрішньої – розподільний пристрій для розподілу по поверхні фільтруючого елементу (3) рідини, яка надходить на доочистку. Знизу в біофільтр встановлено пластину з отворами для утримання фільтруючого елементу і патрубок з краном для відведення очищеного стоку. Крім того, на боковій стінці біофільтру є два патрубки з заглушками, що забезпечує можливість відбирати проби для хімічних і мікробіологічних аналізів на різних рівнях фільтруючого елементу, а при наявності трьох різних фільтруючих елементів – після кожного з них.

Такі конструкції анаеробно-аеробного ферментатора і біофільтра дають змогу відпрацювати режими збродження, аерації та біофільтрації при зміні основних технологічних параметрів у широких межах.

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

**Блок ємностей** (рис. 2) - це металева рама, на якій встановлені одна над одною три ємності місткістю по  $0,5 \text{ м}^3$  кожна. На стояку рами змонтовано ручний насос для перекачування стоків (8).

**Система теплозабезпечення** (рис. 2) призначена для підтримання необхідної температури процесу анаеробного бродіння і складається з серійного обладнання електронагрівача (6) потужністю 15 кВт і водяного насоса з електроприводом, який використовується як циркуляційний насос (6). Система може забезпечити нагрів теплоносія (води) до  $85^\circ\text{C}$ .

**Система аерації** (рис. 2) призначена для забезпечення надходження повітря в аераційні відсіки ферментатора і є серійною компресорною установкою СО – 243 (4) продуктивністю  $32 \pm 2 \text{ м}^3$  повітря за годину і робочим тиском до  $6 \text{ кг/см}^2$ .

**Гідропонне обладнання** (рис. 2) - це стаціонарна двоярусна конструкція з рухомими гідропонними піддонами (вегетативними ємностями) (7), яка обладнана системами подачі і відведення поживного субстрату, системою штучного фіто-опромінення, системою аерації, та системою автоматичного керування.

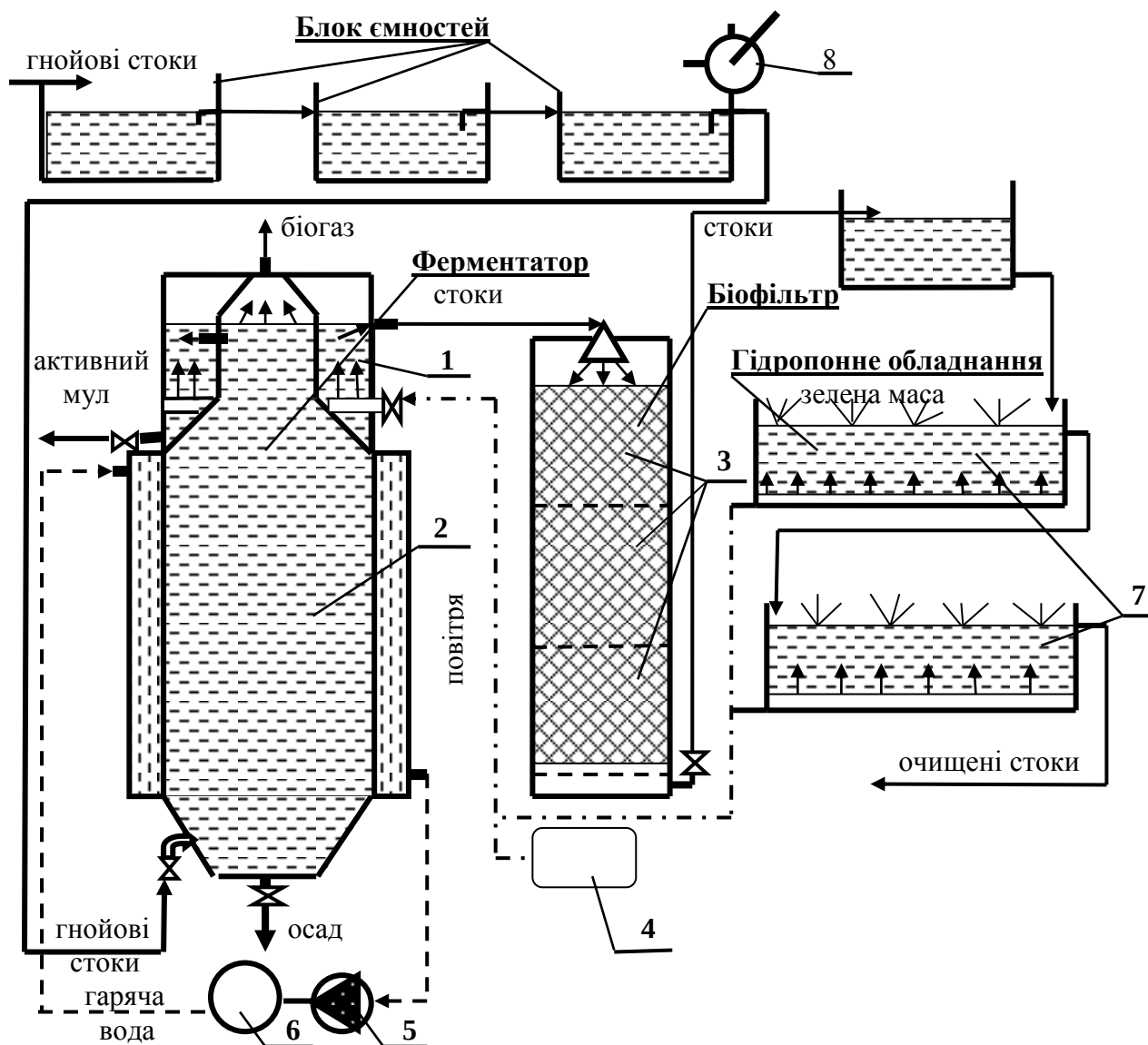


Рис. 2. Технологічна схема процесу утилізації гнойових стоків:

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

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 м<sup>2</sup>. Гідропонний піддон обладнаний зливним і переливним патрубками, за допомогою яких надлишок стоків надходить в збірну ємність, розташовану під піддонами. Гідропонні піддони колісними парами встановлюються на горизонтальні рейкові направляючі.

**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.

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

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

В результаті очищення стоків тваринницької ферми за допомогою біологічної очистки 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 рази (з 3282 мг/л до 1198 мг/л), БСК<sub>5</sub> - в 9,9 разів (з 2177 мг/л до 220 мг/л), вміст азоту - в 3 рази (з 955 мг/л до 319 мг/л), вміст фосфору зменшився в 1,4 рази (з 78 мг/л до 55 мг/л). В результаті використання біофільтра вміст завислих речовин зменшився в 13,8 разів (з 1520 мг/л до 110 мг/л). До очищення було виявлено колі-титр кишкової палички який становив  $10^{-4}$ , після очищення стоків він відсутній.

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 п. 18 Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами, для комунальних споруд повного біологічного очищення стічних вод встановлюються такі нормативи гранично допустимого вмісту забруднюючих речовин (мг/л): біохімічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) - не більше 15; хімічне споживання кисню (ХСК) - не більше 80; завислих речовин - не більше 15 [22].

Отже, очищені стоки тваринницької ферми не можна використовувати для прямого зливу в водойми. Про те їх можна використовувати для технічних цілей та як базовий розчин для вирощування гідропонних зелених кормів.

Під час вирощування ГЗК, стоки проходять доочищення (табл. 3). При цьому значення водневого показника (рН) зменшилося з 8,2 до 7,6, значення ХСК зменшилося в 1,6 рази (з 1198 мг/л до 746 мг/л), БСК<sub>5</sub> - в 2,3 рази (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 рази (з 55 мг/л до 7), вміст завислих речовин зменшився в 1,6 разів (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 в якості базового розчину, і порівнявши з результатами аналогічного корму, який вирощувався на штучно виготовленому базовому розчині (табл. 4) встановлено, що отриманий корм відповідає хімічному складу ГЗК, який вирощувався на штучно приготовленому базовому розчині.

Таблиця 4 - Хімічний склад ГЗК із зерна ячменю.

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

За результатами дослідження виходу зеленої маси залежно від тривалості вирощування ГЗК і температури (табл. 5, рис. 3) встановлено, що оптимальна тривалість вирощування 7 діб (різниця в прирості зеленої маси між 6 і 7 добою при температурі вирощування 20 °С становить 3,5 кг/м<sup>2</sup>, між 7 і 8 добою вирощування приріст - 2 кг/м<sup>2</sup>. При температурі вирощування 25 °С приріст зеленої маси між 6 і 7 добою - 5 кг/м<sup>2</sup>, між 7 і 8 добою 4 кг/м<sup>2</sup>. Таким чином підвищення температури з 20°С до 25°С позитивно впливає на вихід зеленої маси.

Таблиця 5 - Вихід зеленої маси залежно від тривалості і температури вирощування.

| Тривалість вирощування, діб | Вихід зеленої маси при температурі вирощування 25 °С, кг/м <sup>2</sup> |          |               | Вихід зеленої маси при температурі вирощування 20 °С, кг/м <sup>2</sup> |          |               |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|
|                             | $\bar{Y}$                                                               | $\sigma$ | $\pm 3\sigma$ | $\bar{Y}$                                                               | $\sigma$ | $\pm 3\sigma$ |
| 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          |

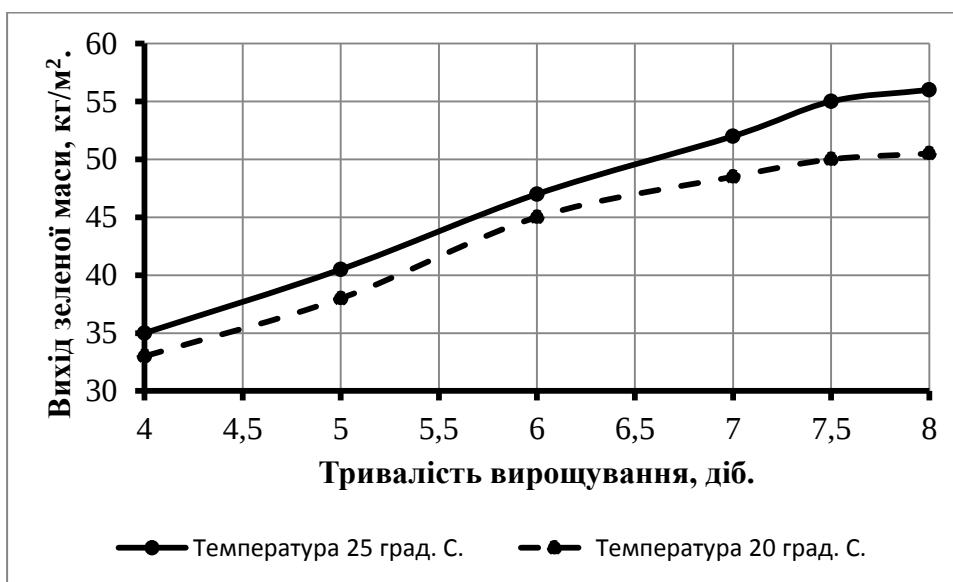


Рис. 3. Вихід зеленої маси залежно від тривалості і температури вирощування.

За результатами дослідження виходу зеленої маси залежно від норми висіву насіння для отримання ГЗК через 7 діб і температури (табл. 6, рис. 4) встановлено: оптимальна норма насіння ячменю 5 кг/м<sup>2</sup> (при температурі вирощування 20 °С приріст зеленої маси при нормі між 4 і 5 кг/м<sup>2</sup> – 10 кг/м<sup>2</sup>, а між 5 і 6 кг/м<sup>2</sup> приріст становить 4 кг/м<sup>2</sup>). При температурі вирощування 25 °С при нормі висіву між 4 і 5 кг/м<sup>2</sup> приріст зеленої маси – 11 кг/м<sup>2</sup>, між 5 і 6 кг/м<sup>2</sup> – 3 кг/м<sup>2</sup>. Отже, підвищення температури з 20 °С до 25 °С позитивно впливає на вихід зеленої маси при оптимальній нормі висіву насіння ячменю 5 кг/м<sup>2</sup>.

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

| Норма висіву, кг/м <sup>2</sup> | Вихід зеленої маси при температурі вирощування 25 °С, кг/м <sup>2</sup> |          |               | Вихід зеленої маси при температурі вирощування 20 °С, кг/м <sup>2</sup> |          |               |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|
|                                 | $\bar{Y}$                                                               | $\sigma$ | $\pm 3\sigma$ | $\bar{Y}$                                                               | $\sigma$ | $\pm 3\sigma$ |
| 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          |

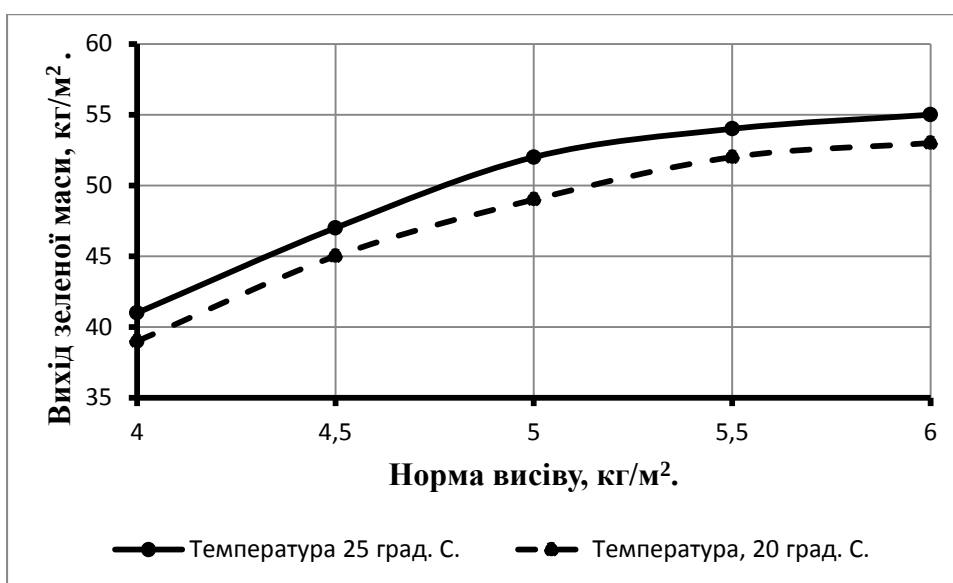


Рис. 4. Вплив норми висіву на вихід зеленої маси залежно від температури вирощування.

### Висновки.

Результати проведених досліджень показали, що рідка фракція вихідних гнойових стоків тваринницьких ферм без попередньої очистки не може використовуватись як поживний розчин для вирощування гідропонних зелених кормів через високу концентрацію забруднень. Водночас гнойові стоки, які пройшли попередню очистку шляхом метанової ферментації, аерації і біофільтрації за вмістом хімічних речовин наближаються до стандартного розчину і можуть бути використані для вирощування ГЗК. В результаті попередньої очистки 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,

БСК<sub>5</sub> - 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, і не можна використовувати для прямого зливу в водойми, оскільки значення ХСК стоку 746 мг/л (допустиме значення ХСК – не більше 80 мг/л), а БСК<sub>5</sub> - 96 мг/л (допустиме значення БСК<sub>5</sub> – не більше 15 мг/л), вміст завислих речовин - 70 мг/л (допустимий вміст - не більше 15).

Встановлено, що отриманий зелений корм відповідає за хімічним складом ГЗК, який вирощувався на штучно приготовленому 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/м<sup>2</sup>.

Таким чином, результати досліджень свідчать про доцільність використання комбінованих технологій, що включають процеси мікробіологічної нестерильної ферментації та фітоочищення. Одержана при цьому 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. Матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 426-431.

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

5. Скляр Р.В., Скляр О.Г., Болтянська Н.І., Болтянський Б.В., Дереза С.В. Методи інтенсифікації процесів одержання біогазу. The third international scientific congress of scientists of Europe. 2019. P. 56.

6. Болтянська Н.І. Проектування та монтаж техніки агропромислового виробництва»: курс лекцій / Н.І. Болтянська, Б.В. Болтянський, С.В. Дереза. 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. № 1 5. P. 1 8–29.

8. *Kaletnik G. Production and use of biofuels: Second edition, supplemented: textbook. Vinnytsia: LLC "Nilan-Ltd", 2018. 336 p.*
9. Pierro N., Giuliano A., Giocoli A., Barletta D., De Bari I. Process Design of the Biogas Upgrading to Biomethane Using Green Hydrogen. *Chemical Engineering Transactions*. 2023. № 100. P.
10. Болтянська Н.І. Машиновикористання техніки в тваринництві: курс лекцій (Частина 2) / Н.І. Болтянська, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Б.В. Болтянський, С.В. Дереза. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 160 с. 7.
11. Скляр Р.В. Машиновикористання техніки в тваринництві: навчальний посібник з виконання лабораторних робіт / Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Б.В. Болтянський. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 180 с.
12. Скляр О.Г. Механізовані технології в виробництві сільськогосподарської продукції. Посібник-практикум / О.Г. Скляр, Р.В. Скляр. Мелітополь: Люкс, 2019. 303с.
13. Boltianskyi B., Sklyar R., Boltianska L., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes* 2021, 9 (7), 1144.
14. Дереза О.О., Болтянська Н.І., Дереза С.В. Огляд і напрямки розвитку сучасних технологій очищення стічних вод свиногокомплексів. Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «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. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами : [монографія] / М. С. Мальований, І. М. Петрушка ; 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. Інформаційний ресурс: <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 №16. 2016. С. 52-65.
19. Значення БСК5 у водоймах з різним ступенем забрудненості. 2019. Інформаційний ресурс: <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.  
<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. Інформаційний ресурс:

[https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Умови\\_скидання\\_зворотних\\_вод\\_у\\_водні\\_об'єкти](https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Умови_скидання_зворотних_вод_у_водні_об'єкти)

23. Чугуєвець В. Гідропонний зелений корм. Свіжа трава протягом цілого року. 2024. 18 с. Інформаційний ресурс:

<https://propozitsiya.com/ua/gidrotehnologiya-u-virishenni-problemi-kormiv>

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

## REFERENCES

1. Boltyans'ka N.I., Dereza S.V. Analiz prychn zakhvoryuvannya koriv na subklinichnyy mastyt [Analysis of the causes of cows' disease with subclinical mastitis]. Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi: Mat. II Mizhnar. nauk.- prakt. konf. Melitopol': TDATU, 2020. S. 205-209[In Ukrainian].

2. Dereza O.O. Zalezhnist' produktyvnosti tvaryn vid pokaznykiv yakosti pytnoyi vody [Dependence of animal productivity on drinking water quality indicators]. Melioratsiya ta vodovykorystannya. Profesiyna osvita: stan ta perspektyvy: materialy KHIII nauk.-prakt. konf. Yakymivka, 2021. S. 50-54[In Ukrainian].

3. Dereza S.V. Vyznachennya osnovnykh zakhodiv enerhoefektyvnoho funktsionuvannya ahropromyslovoho kompleksu Ukrayiny [Determination of the main measures of energy-efficient functioning of the agro-industrial complex of Ukraine]. Materialy I Mizhnar. nauk.-prakt. Internet-konferentsiyi «Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi». Melitopol': TDATU, 2020. S. 426-431[In Ukrainian].

4. Boltyans'kyi B.V. Enerho- ta resursozberezhennya 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] / B.V. Boltyans'kyi, O.H. Sklyar, R.V. Sklyar ta in. K.: Vydavnychyy dim «Kondor», 2020. 410 s. [In Ukrainian].

5. Sklyar R.V., Sklyar O.H., Boltyans'ka N.I., Boltyans'kyi B.V., Dereza S.V. Metody intensyfikatsiyi protsesiv oderzhannya biohazu [Methods of intensification of biogas production processes]. The third international scientific congress of scientists of Europe. 2019. P. 56 [In Ukrainian].

6. Boltyans'ka N.I. Proektuvannya ta montazh tekhniky ahropromyslovoho vyrobnytstva»: kurs lektsiy [Design and installation of agricultural production

equipment: course of lectures] / N.I. Boltyans'ka, B.V. Boltyans'kyi, S.V. Dereza. Melitopol': Vydavnycho-polihrafichnyy tsentr «Lyuks», 2020. 196 s. [In Ukrainian].

7. Goncharuk I. V. Biogas production in the agricultural sector – a way to increase energy independence and soil fertility”. *Agrosvit*. 2020. № 1 5. P. 1 8–29 [In English].

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

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

10. Boltyans'ka N.I. Mashynovykorystannya tekhniky v tvarynnytstvi: kurs lektsiy (Chastyna 2) [Mechanical use of equipment in livestock farming: a course of lectures (Part 2)]/ N.I. Boltyans'ka, O.H. Sklyar, R.V. Sklyar, B.V. Boltyans'kyi, S.V. Dereza. Melitopol': TDATU, 2019. 160 s. 7 [In Ukrainian].

11. Sklyar R.V. Mashynovykorystannya tekhniky v tvarynnytstvi: navchal'nyy posibnyk z vykonannya laboratornykh robot [Mechanical use of equipment in livestock farming: a textbook for performing laboratory work] / R.V. Sklyar, O.H. Sklyar, B.V. Boltyans'kyi. Melitopol': TDATU, 2019. 180 s. [In Ukrainian].

12. Sklyar O.H. Mekhanizovani tekhnolohiyi v vyrobnytstvi sil's'kohospodars'koyi produktsiyi. Posibnyk-praktykum [Mechanized technologies in the production of agricultural products. Manual-workshop] / O.H. Sklyar, R.V. Sklyar. Melitopol': Lyuks, 2019. 303s. [In Ukrainian].

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

14. Dereza O.O., Boltyans'ka N.I., Dereza S.V. Ohlyad i napryamky rozvytku suchasnykh tekhnolohiy ochyshchennya stichnykh vod svynokompleksiv [Review and directions of development of modern technologies for wastewater treatment of pig farms]. *Materialy I Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi» 0,1-26 lystopada 2021 r. Tavriys'kyi derzhavnyy ahrotekhnichnyy universytet im. Dmytra Motornoho*, 2021. S. 154 -161[In Ukrainian].

15. Ochyshchennya stichnykh vod pryrodnyimi dyspersnyimi sorbentami : [monohrafiya] [Wastewater Treatment with Natural Dispersed Sorbents: [monograph]/ M. S. Mal'ovanyy, I. M. Petrushka ; M-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrayiny, Nats. un-t «L'viv. Politehnika». – L. : Vyd-vo L'viv. politekhniky, 2012. 180 s. [In Ukrainian].

16. Markova N. V., Khonenko L. H., Panfilova A.V. Tekhnolohiya vyrobnytstva roslynnykh kormiv Metodychni rekomendatsiyi do samostiynoho vyvchennya navchal'noyi dystsypliny dlya zdobuvachiv vyshchoyi osvity stupenya «bakalavr» spetsial'nosti 204 «TVPPT» 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]. Mykolayivs'kyi natsional'nyi ahraryi universytet. m. Mykolayiv. 2020. 99 s. [In Ukrainian].

17. Hidroponni zeleni kormy [Hydroponic green fodder]. 2011. Informatsiynyy resurs: <https://studfile.net/preview/7376036/page:32/> [In Ukrainian].

18. Vorontsov O.O. Stichni vody tvarynnyts'kykh kompleksiv, yak substrat dlya anaerobnoyi fermentatsiyi [Wastewater from livestock complexes as a substrate for anaerobic fermentation]. Naukovi pratsi NUKHT, t 22 №16. 2016. S. 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. Informatsiynyy resurs: <https://studfile.net/preview/9807759/page:92/> [In Ukrainian].

20. Pro zatverdzhennya metodyk vykonannya vymiryuvan' pokaznykiv u stichnykh vodakh [On approval of methods for measuring indicators in wastewater]. Nakaz № 107 vid 28.05.2004. Derzhavnyy komitet Ukrayiny z pytan' zhytlovo-komunal'noho hospodarstva. 2004. [In Ukrainian].

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107508-04#Text>

21. Sadovs'ka N.P., Popovych H.B., Symochko V.V., Sheydyk K.A. Suchasni tekhnolohiyi vyroshchuvannya ovochevykh kul'tur u vidkrytomu ta zakrytomu grunti: metodychni rekomendatsiyi do laboratornykh robit ta samostiynoyi roboty [Modern technologies for growing vegetable crops in open and closed soil: methodological recommendations for laboratory work and independent work]. – Uzhhorod: Vydavnytstvo UzhNU «Hoverla», 2023. 124 s. [In Ukrainian]

22. Umovy skydannya zvorotnykh vod u vodni ob'yekty [Conditions for discharging return water into water bodies]. Informatsiynyy resurs: [https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Умови\\_скидання\\_зворотних\\_вод\\_у\\_водні\\_об'єкти](https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/Умови_скидання_зворотних_вод_у_водні_об'єкти) [In Ukrainian].

23. Chuhuyevets' V. Hidroponnyy zelenyy korm. Svizha trava protyahom tsiloho roku. 2024. 18 s.[Hydroponic green fodder. Fresh grass throughout the year]. Informatsiynyy resurs: <https://propozitsiya.com/ua/gidrotehnologiya-u-virishenni-problemi-kormiv> [In Ukrainian].

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

#### **Анотація**

Сенчук М.М.

#### **КОМПЛЕКСНА БІОТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ.**

Екологічна ситуація, що склалась в країні, вітчизняний та закордонний досвід біологізації сільського господарства вказує на необхідність розробки і впровадження постіндустріальних біоконверсних технологій та їх комплексного використання. Нині проблема очистки концентрованих стічних вод, до яких належать також стоки тваринницьких комплексів, набуває все більшої ваги при вирішенні екологічних питань.

Застосування тваринницьких стоків на полях зрошення та компостування не дають можливості використати весь комплекс наявних в них органічних речовин. З іншого боку, використовувані нині способи обробки та знезараження цих стоків не забезпечують необхідного ступеня очистки. Недостатньо очищені стічні води (ступінь очистки при аеробній обробці становить 55-60% за показником біохімічного споживання кисню), аварійні скидання з гноєсховищ, зливні скидання з територій комплексу, завищені норми зрошення – все це призводить до забруднення ґрунту і водойм, тому необхідне удосконалення технологій очистки. Найбільш перспективною з екологічної точки зору є комплексна технологія очистки концентрованих стоків тваринницьких ферм і комплексів з використанням анаеробної (метанової) ферментації на попередній стадії обробки з подальшою аеробною очисткою, а також використання біофільтра та гідропонної установки.

Дослідження проводились на гнійових стоках молочно-товарної ферми великої рогатої худоби. Для їх очистки використовувалась установка, яка складається з анаеробно-аеробного ферментатора, біофільтра, блоку ємностей, систем теплозабезпечення та аерації. Біологічній очистці на макетному зразку технологічної лінії піддавалась рідка фракція гнійових стоків після відстоювання у блоку ємностей. Метанова ферментація стоку проводилась в метантенку. Експозиція зброджування складала 5 діб при температурному режимі (температура процесу 40...45 °С). Зброжений стік надходив в аераційну ємність, де піддавався аерації стисненим повітрям протягом 2,5 доби. Попередньо очищений стік піддавався доочистці на біофільтрі, після - на гідропонному обладнанні, культура – ячмінь, норма висіву - 5 кг/м<sup>2</sup>, тривалість вирощування гідропонного зеленого корму 7 діб.

В результаті очищення стоків тваринницької ферми за допомогою біологічної очистки 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, БСК<sub>5</sub> - 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. В результаті використання біофільтра вміст завислих речовин зменшився з 1520 мг/л до 70 мг/л. Колі-титр кишкової палички відсутній.

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

Встановлено, що отриманий корм відповідає за хімічним складом ГЗК, який вирощувався на штучно приготовленому базовому розчині, а оптимальна тривалість вирощування 7 діб при оптимальній нормі висіву - 5 кг/м<sup>2</sup>.

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.

### **Annotation**

Senchuk M.M.

#### **COMPREHENSIVE BIOTECHNOLOGY OF LIVESTOCK FARM WASTEWATER TREATMENT.**

The environmental situation in the country, domestic and foreign experience of biologization of agriculture indicate the need to develop and implement post-industrial bioconversion technologies and their integrated use. Currently, the problem of treatment of concentrated wastewater, which also includes effluents from livestock complexes, is gaining increasing importance in solving environmental issues.

The use of livestock wastewater in irrigation and composting fields does not allow the use of the entire complex of organic substances present in them. On the other hand, the currently used methods of processing and disinfection of these wastewaters do not provide the required degree of purification. Insufficiently purified wastewater (the degree of purification during aerobic treatment is 55-60% according to the biochemical oxygen consumption indicator), emergency discharges from manure storages, drain discharges from the territories of the complex, overestimated irrigation rates - all this leads to pollution of soil and water bodies, therefore it is necessary to improve purification technologies. The most promising from an environmental point of view is the integrated technology for purifying concentrated wastewater from livestock farms and complexes using anaerobic (methane) fermentation at the preliminary stage of treatment with subsequent aerobic purification, as well as the use of a biofilter and a hydroponic installation.

The research was conducted on manure effluents 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. Methane 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/m<sup>2</sup>, 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 BOD<sub>5</sub> 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 biofilter, the suspended solids content decreased from 1520 mg/l to 70 mg/l. There is no coliform titer.

The purified livestock farm wastewater 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 the optimal seeding rate - 5 kg/m<sup>2</sup>. The obtained research results give grounds to conclude about the feasibility of using combined technologies, which include the processes of microbiological non-sterile fermentation and phytopurification. The biomass obtained in this case can be used as hydroponic green feed.

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