

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА,
ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**КАФЕДРА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ
І ОЧИЩЕННЯ ВОД**

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему **«Модернізація системи водовідведення тваринницького комплексу
на 60 000 голів»**

Виконав: здобувач освіти 4-го курсу,
групи ГБ та ВТ 2022– 1
спеціальності 194 Гідротехнічне
будівництво, водна
інженерія та водні технології,
освітня програма «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології»
Козярівський Є. М.
Керівник доц. Тітов А.А.
Рецензент доц. Сироватський О.А.

Харків – 2026 року

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА

Факультет навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

Кафедра Водопостачання, водовідведення і очищення вод

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології,

Освітня програма «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ВВ і ОВ



проф. Карагяур А.С.

“22” травня 2026 року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ** **Козярівському Євгену Миколайовичу**

1. Тема роботи «Модернізація системи водовідведення тваринницького комплексу на 60 000 голів»

керівник роботи Тітов Андрій Анатолійович, канд. техн. наук, доцент

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.05.2026 року № 441-03

2. Строк подання студентом роботи 24.06.2026 р.

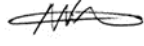
3. Вихідні дані до роботи: запроектувати системи водовідведення свиноферми: 61 тис. голів на рік, кількість працюючих: 35 осіб, загальна площа території комплексу: 18,14 га (у т.ч.: покрівлі – 4,485 га; газони – 6,829 га; тверді покриття – 2,467 га), ступінь вогнестійкості будівель: II–IIIа, категорія з пожежної небезпеки: В, Д, розрахункова глибина промерзання ґрунту: 0,8–1,0 м, середньодобовий шар опадів (теплий період): 327 мм, середньодобовий шар опадів (холодний період): 223 мм, переважаючий напрям вітрів: північний, східний

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Загальні відомості. 4.2 Технологічна частина 4.3 Спеціальна частина 4 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

5.1 Технологічна частина – 6 креслень; 1 план об'єкту, 2 – система комунікацій, 3 – насосна станція 4,5, 6 – технологічні креслення.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Загальні відомості	доц. Тітов А.А.		
2. Технологічна частина	доц. Тітов А.А.		
3. Спеціалізована частина	доц. Тітов А.А.		
4. Охорона праці	доц. Барбашин В. В.		
Допуск до захисту	проф. Карагяур А.С.		
Показник оригінальності кваліфікаційної роботи	доц. Сорокіна К. Б.		

7. Дата видачі завдання 30.05.2026 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості	30.05 – 3.06.2026	
2	Технологічна частина	4.06 - 8.06.2026	
3	Спеціалізована частина	9.06 – 12.06.2026	
4	Охорона праці	13.06 – 15.06.2026	
5	Графічна частина	30.05 – 15.06.2026	
6	Оформлення і захист	16.06 – 23.06.2026	

Здобувач освіти

 Козярівський Є.М.

Керівник роботи

 Тітов А.А.

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	5
1.1 Природно-кліматичні умови	5
1.1.1 Кліматична характеристика району будівництва	5
1.1.2 Геологічні та гідрогеологічні умови	6
1.1.3 Характеристика водотоку-приймача стічних вод.....	7
1.2 Стан питання.....	8
1.2.1 Актуальність улаштування системи водовідведення об'єкта.....	8
1.2.2 Аналіз існуючих рішень водовідведення	8
1.3 Обґрунтування проєктних рішень	9
1.3.1 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи	9
1.3.2 Вибір схеми та системи водовідведення	10
1.3.3 Вибір місця розташування очисної станції	10
1.3.4 Загальна оцінка обсягів водовідведення	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1 Визначення обсягів водовідведення	
2.1.1 Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод	
2.1.2 Визначення витрат від промислових підприємств	
2.1.3 Визначення зосереджених витрат	
2.1.4 Побудова графіка надходження стічних вод	
2.2 Трасування та проєктування водовідвідної мережі.....	20
2.2.1 Складання схеми притоку стічних вод до головного колектора	20
2.2.2 Трасування вуличної мережі та колекторів	22
2.3 Гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі	23
2.3.1 Визначення розрахункових витрат на ділянках.....	23
2.3.2 Гідравлічний розрахунок самотливних колекторів	24
2.3.3 Побудова поздовжніх профілів колекторів.....	26
2.4 Проєктування каналізаційної насосної станції	28
2.4.1 Визначення розрахункових витрат і напору	28

2.4.2 Вибір насосного устаткування та режиму роботи.....	29
2.4.3 Розрахунок приймального резервуара.....	30
2.5 Розрахунок споруд очищення стічних вод	32
2.5.1 Обґрунтування технологічної схеми очищення	34
2.5.2 Розрахунок споруд механічного очищення.....	36
2.5.3 Розрахунок споруд біологічного очищення.....	41
2.5.4 Розрахунок споруд знезараження.....	48
2.5.5 Розрахунок споруд обробки осаду	50
3 СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЧАСТИНА	54
3.1 Організація експлуатації системи водовідведення.....	54
3.2 Захист трубопроводів і споруд від корозії	57
3.3 Охорона навколишнього середовища	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	62
4.1 Аналіз умов праці на об'єкті	
4.2 Заходи із забезпечення безпечних умов праці	67
4.3 Розрахунки з охорони праці обслуговуючого персоналу	70
4.4 Висновки до розділу	72
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Забезпечення населених пунктів і виробничих об'єктів надійними системами водовідведення є однією з найважливіших умов охорони довкілля та сталого розвитку господарства. Інтенсифікація тваринництва, зокрема будівництво великих свинокомплексів із закінченим виробничим циклом, супроводжується утворенням значних обсягів стічних вод і гною, які за відсутності належної системи збирання, відведення та очищення становлять серйозну загрозу для ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Тому проектування ефективної та екологічно безпечної системи водовідведення такого об'єкта є актуальним інженерним завданням.

Актуальність теми зумовлена потребою у комплексному розв'язанні проблеми поводження зі стічними водами свинокомплексу: відведенням побутових, виробничих, гнойових і дощових стоків, їх очищенням та утилізацією з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Сучасні вимоги передбачають не лише знешкодження забруднень, а й ресурсну утилізацію — отримання біогазу та органічних добрив, що відповідає принципам циркулярної економіки й енергоефективності.

Об'єктом проектування є система водовідведення свинокомплексу із закінченим виробничим циклом, розташованого в смт Дніпровське Верхньодніпровського району Дніпропетровської області. Предметом роботи є технічні рішення зі збирання, транспортування, очищення та утилізації стічних вод різних категорій (побутових K1, виробничих K3, гнойових K13 і дощових K2).

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проекту системи водовідведення свинокомплексу, що забезпечує надійне відведення та екологічно безпечне очищення стічних вод усіх категорій з корисною утилізацією їх компонентів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі завдання:

- проаналізовано природно-кліматичні та інженерно-геологічні умови району будівництва, обґрунтовано схему й систему водовідведення об'єкта;

- визначено розрахункові обсяги водовідведення за категоріями стічних вод та побудовано графік їх надходження;
- виконано трасування водовідвідної мережі, її гідравлічний розрахунок та запроєктовано каналізаційну насосну станцію;
- розраховано споруди очищення стічних вод: механічного, біологічного (анаеробного) очищення, знезараження та обробки осаду;
- розглянуто питання експлуатації, захисту споруд від корозії, охорони навколишнього середовища та охорони праці обслуговуючого персоналу.

Вихідними даними для проєктування слугували завдання на кваліфікаційну роботу, генеральний план та технологічні характеристики свинокомплексу, кліматологічні й гідрогеологічні дані району, а також чинні нормативні документи у галузі водовідведення та поводження з гноєм.

Методичною основою роботи є чинні державні будівельні норми (ДБН В.2.5-75:2013, ДБН В.2.5-64:2012), відомчі норми технологічного проєктування тваринницьких підприємств (ВНТП-АПК-02.05, ВНТП-АПК-09.06), стандарти й довідкова література з проєктування каналізаційних мереж та очисних споруд. У розрахунках застосовано загальноприйняті інженерні методики гідравлічного розрахунку трубопроводів, підбору насосного обладнання та технологічного розрахунку очисних споруд.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані технічні рішення можуть бути використані для проєктування й реконструкції систем водовідведення тваринницьких комплексів. Прийнята триланкова схема очищення забезпечує знешкодження найбільш забруднених гнойових стоків з одночасним виробництвом біогазу та органічних добрив, очищення дощових стоків до показників, придатних для повторного використання на зрошення, та екологічно безпечне поводження з побутовими й виробничими стоками.

Пояснювальна записка складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку джерел. У першому розділі наведено загальні відомості про об'єкт і обґрунтування проєктних рішень; у другому — технологічні розрахунки системи водовідведення та очисних споруд; у третьому — питання експлуатації,

захисту від корозії, охорони довкілля, технології будівництва й техніко-економічної оцінки; у четвертому — заходи з охорони праці.

Ключові слова: ВОДОВІДВЕДЕННЯ, СТІЧНІ ВОДИ, СВИНОКОМПЛЕКС, КАНАЛІЗАЦІЙНА МЕРЕЖА, НАСОСНА СТАНЦІЯ, ОЧИСНІ СПОРУДИ, АНАЕРОБНЕ ЗБРОДЖУВАННЯ, БІОГАЗ, ГНОЄВИДАЛЕННЯ.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Природно-кліматичні умови

1.1.1 Кліматична характеристика району будівництва

Майданчик проектування розміщено у смт Дніпровське Верхньодніпровської громади (Кам'янський район) Дніпропетровської області, тобто у межах степової фізико-географічної зони південного сходу України. За класифікацією будівельної кліматології, наведеною у ДСТУ-Н Б В.1.1-27, ця місцевість належить до помірно-континентального кліматичного поясу з вираженою посушливістю, що визначає вихідні дані для теплотехнічних та гідравлічних розрахунків інженерних мереж об'єкта.

Зими тут порівняно м'які та нетривалі, а літні місяці спекотні й сухі. Середньодобова температура найхолоднішого місяця, січня, утримується на рівні близько мінус 6 °С, тоді як у липні вона сягає приблизно плюс 21 °С; усереднені сезонні показники становлять мінус 5...6 °С узимку та плюс 22...23 °С влітку. Таким чином, річна амплітуда коливань температури повітря є значною, що характерно для континентального типу клімату.

Атмосферне зволоження території помірне. Сумарна річна кількість опадів коливається в межах 400–490 мм, причому максимум зливових дощів припадає на літній період — переважно на червень і липень, коли повітряні маси з півдня насичені вологою. Розподіл опадів упродовж року нерівномірний, що слід враховувати під час визначення розрахункових об'ємів поверхневого стоку та підбору споруд для його акумуляції.

У вітровому режимі переважають потоки північно-східного та східного напрямків. Саме ці румби є визначальними при компонуванні майданчика, оскільки споруди, що є джерелом неприємних запахів (накопичувачі гною, лагуни, споруди анаеробного зброджування), доцільно розташовувати з підвітряного боку відносно житлової та адміністративної забудови. Під час тривалих посушливих періодів сильні вітри сприяють пиловому переносу, що додатково обґрунтовує необхідність озеленення санітарно-захисної зони.

Наведені кліматичні параметри запозичені з регіональних метеорологічних узагальнень по Дніпропетровській області та найближчого до майданчика опорного пункту спостережень (м. Кам'янське). Для остаточних інженерних розрахунків глибину промерзання ґрунтів, розрахункові зимові температури та коефіцієнти забезпеченості слід приймати безпосередньо за чинною редакцією ДСТУ-Н Б В.1.1-27 для відповідного географічного пункту.

1.1.2 Геологічні та гідрогеологічні умови

У геоструктурному відношенні розглядувана ділянка приурочена до Українського кристалічного щита. Фундамент території складений докембрійськими кристалічними утвореннями — переважно біотитовими гнейсами та мігматитами, поверхня яких є нерівною та перекрита товщею кайнозойських осадових відкладів. Верхню частину розрізу зазвичай утворюють четвертинні лесоподібні суглинки, під якими залягають піщано-глинисті породи неогену.

Рельєф правобережжя Дніпра, до якого тяжіє майданчик, є підвищеним і розчленованим: відносні перевищення поверхні, балки та яри формують складну морфологію місцевості. Ця обставина впливає на трасування самопливних колекторів гноєвидалення і вимагає врахування ухилів природного рельєфу для забезпечення транспортування стоків переважно самопливом.

Гідрогеологічні умови визначаються наявністю ґрунтових вод у товщі четвертинних та неогенових відкладів; глибина їхнього залягання змінюється залежно від положення ділянки відносно місцевого базису ерозії та берегової лінії водосховища. З огляду на близькість великого поверхневого водного об'єкта необхідно передбачати заходи з гідроізоляції ємнісних споруд (лагун, накопичувачів, септика, резервуарів зброджування) задля унеможливлення фільтрації забруднених стоків у водоносні горизонти.

Слід окремо зазначити, що точні дані інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань саме цього майданчика у складі наданої робочої документації відсутні. Викладені вище відомості мають оглядово-регіональний характер та спираються на опубліковані джерела щодо геологічної будови

Придніпров'я. Конкретні значення фізико-механічних характеристик ґрунтів, рівнів ґрунтових вод та їхньої агресивності належить уточнити за матеріалами польових вишукувань на стадії робочого проектування.

1.1.3 Характеристика водотоку-приймача стічних вод

Найближчим до об'єкта великим поверхневим водним об'єктом є Кам'янське (колишнє Дніпродзержинське) водосховище — одне з водойм каскаду на середній течії Дніпра, утворене внаслідок спорудження Середньодніпровської ГЕС. Його площа дзеркала становить близько 567 км², повний об'єм — приблизно 2,45 км³, довжина сягає 114 км; саме у зоні цього водосховища розташований Верхньодніпровськ та прилеглі населені пункти.

Принципова особливість проєктованої системи полягає в тому, що каналізація гноєвидалення свинокомплексу із закінченим виробничим циклом є замкненою (безскидною). Рідкий гній та супутні виробничі стоки не відводяться до природного водотоку, а спрямовуються на споруди механічного розділення, анаеробного зброджування (з отриманням біогазу) та подальшого накопичення у лагунах-відстійниках. Перероблений субстрат у подальшому використовується як органічне добриво для внесення на сільськогосподарські угіддя, що відповідає сучасній концепції безвідходного господарювання.

З огляду на викладене, поняття «водотоку-приймача» в традиційному розумінні (скид очищених вод у річку) для системи гноєвидалення не застосовується. Натомість Кам'янське водосховище та підземні водоносні горизонти виступають об'єктами, що підлягають захисту від забруднення. Поверхневий (дощовий) стік із території комплексу збирається окремо й відводиться до ставка-накопичувача дощових стоків, чим запобігається потрапляння забрудненого поверхневого стоку у водойму.

Таким чином, проєктні рішення мають забезпечувати повну герметичність ланцюга збирання, транспортування, зброджування та зберігання гною, а також дотримання нормативних санітарно-захисних відстаней відносно водного об'єкта та водозабірних споруд.

1.2 Стан питання

1.2.1 Актуальність улаштування системи водовідведення об'єкта

Об'єктом проєктування виступає реконструкція наявного комплексу будівель і споруд під свиноферму із закінченим виробничим циклом (адреса: Дніпропетровська область, Верхньодніпровський район, смт Дніпровське, вул. Київська, 1а). Концентрація значного поголів'я свиней на обмеженій території супроводжується утворенням великих обсягів рідкого гною та забруднених виробничих стоків, що мають високу концентрацію органічних речовин, сполук азоту й фосфору.

Безконтрольне накопичення та неналежне видалення таких відходів становить пряму загрозу для довкілля: воно здатне спричинити забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також стати джерелом неприємних запахів та епізоотичної небезпеки. Близькість Кам'янського водосховища, що використовується для комплексних потреб (зокрема водопостачання та рибництва), додатково підвищує екологічні вимоги до об'єкта.

Саме тому влаштування надійної, замкненої системи гноєвидалення є невід'ємною умовою функціонування сучасного тваринницького підприємства. Така система не лише забезпечує санітарно-епідеміологічне благополуччя та виконання природоохоронного законодавства, а й дозволяє раціонально використати енергетичний потенціал відходів (виробництво біогазу) та поживні властивості переробленого субстрату. Це обумовлює безперечну актуальність розроблюваних у роботі рішень.

1.2.2 Аналіз існуючих рішень водовідведення

У практиці експлуатації тваринницьких комплексів застосовують кілька принципово відмінних підходів до видалення та утилізації гною. Найпростішим, але водночас найменш екологічним, є тривале зберігання гною у відкритих накопичувачах і польдерах із подальшим внесенням на поля; такий спосіб супроводжується значними втратами поживних речовин, емісією аміаку та ризиком фільтрації забруднень у водоносні горизонти.

Більш досконалим вважається механічне розділення гнойових стоків на тверду та рідку фракції з роздільним їх знешкодженням. Окрему групу складають біотехнологічні методи — насамперед анаеробне зброджування у метантенках (ферментаторах), що дозволяє одночасно стабілізувати органіку, знизити патогенність відходів та отримати біогаз як відновлюване джерело енергії. Утворений біогаз спалюється у когенераційних установках для виробництва теплової та електричної енергії.

У наявній робочій документації передбачено саме комплексний, замкнений варіант: гнойові стоки проходять стадії змішування та гідролізу, сепарації, десульфатизації, анаеробного зброджування у ферментаторі, після чого збродженний субстрат і фільтрат накопичуються у двох лагунах-відстійниках значної місткості. Господарсько-побутові стоки забійно-санітарного пункту відводяться до септика, а дощові води — до окремого ставка-накопичувача. Подібне поєднання споруд відповідає найкращим доступним практикам поводження з відходами тваринництва і прийняте за основу в цій кваліфікаційній роботі.

1.3 Обґрунтування проєктних рішень

1.3.1 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи

Згідно із завданням, у роботі необхідно розробити систему каналізації гноєвидалення для свиноферми із закінченим виробничим циклом, що створюється шляхом реконструкції наявного майнового комплексу. Виконання завдання передбачає аналіз вихідних природно-кліматичних та містобудівних умов, обґрунтований вибір схеми й системи відведення стоків, визначення місця розташування споруд їх оброблення, а також орієнтовну оцінку обсягів стоків, що утворюються.

Поставлене завдання має комплексний характер, оскільки потребує узгодження технологічних вимог свинарського виробництва з санітарно-гігієнічними та природоохоронними обмеженнями. Шляхами його розв'язання обрано: застосування замкненої безскидної схеми; роздільне відведення гнойових,

господарсько-побутових та дощових стоків; використання анаеробного зброджування з утилізацією біогазу. Такий підхід забезпечує одночасне досягнення екологічних, санітарних та енергоощадних цілей.

1.3.2 Вибір схеми та системи водовідведення

Для об'єкта прийнято роздільну систему каналізації, за якої потоки різного походження та складу відводяться самостійними мережами. Гнойові стоки тваринницьких корпусів збираються самопливними лотками й трубопроводами та подаються до вузла попереднього оброблення; господарсько-побутові води формуються переважно на забійно-санітарному пункті й санпропускнику; поверхневий стік відводиться дощовою мережею.

Загальна схема відведення гною побудована за принципом «збирання — попереднє оброблення — біотехнологічна стабілізація — накопичення — утилізація». Стоки послідовно проходять резервуар змішування та гідролізу, сепаратор, десульфатизатор і ферментатор, після чого спрямовуються у лагуни. Транспортування забезпечується поєднанням самопливних ділянок (з використанням природних ухилів рельєфу) та напірних, що обслуговуються насосними станціями субстрату.

Перевагою прийнятої роздільної замкненої схеми є запобігання змішуванню висококонцентрованих гнойових стоків із умовно чистим дощовим стоком, що знижує сумарний об'єм відходів, які потребують оброблення, та підвищує ефективність роботи біотехнологічних споруд.

1.3.3 Вибір місця розташування очисної станції

Розташування споруд оброблення гнойових стоків визначено з урахуванням рельєфу майданчика, напрямку переважних вітрів та нормативних санітарно-захисних відстаней. Вузол анаеробного зброджування з допоміжними спорудами (ферментатор, газодувна, когенераційна установка, резервуари змішування й гідролізу, сепаратор, десульфатизатор) і лагуни-накопичувачі розміщено на віддаленій від житлової та адміністративної забудови частині території.

Такий вибір забезпечує: відведення стоків переважно самопливом у бік споруд оброблення завдяки використанню природних ухилів; розташування джерел запаху з підвітряного боку відносно зон постійного перебування людей; а також можливість перспективного розширення комплексу. Лагуни-відстійники винесено на периферію майданчика, що мінімізує вплив на основні виробничі будівлі та полегшує під'їзд транспорту для вивезення субстрату.

1.3.4 Загальна оцінка обсягів водовідведення

Обсяги стоків, що підлягають відведенню та обробленню, формуються двома основними складовими: гнойовими стоками тваринницьких корпусів (залежать від поголів'я, прийнятої технології утримання та норм змиву) і господарсько-побутовими водами обслуговуючого персоналу. Додатково враховується поверхневий (дощовий) стік із забудованої та твердопокритої території.

Орієнтовним показником потужності системи накопичення слугує сумарна місткість лагун-відстійників, передбачених документацією, — дві ємності об'ємом по 14 500 м³ кожна, тобто близько 29 000 м³ загалом. Така акумулювальна здатність розрахована на тривале (сезонне) зберігання збродженого субстрату до періодів його внесення на поля, що є типовим для безскидних систем гноєвидалення.

Точні значення розрахункових добових і максимальних секундних витрат стоків кожної категорії, а також балансові співвідношення між ними визначаються у технологічній частині роботи на підставі норм водовідведення та фактичного поголів'я. На стадії загальних відомостей наведена оцінка має орієнтовний характер і слугує для попереднього обґрунтування складу та продуктивності споруд.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Визначення розрахункових витрат стічних вод є одним з ключових етапів проектування систем водовідведення. Від точності цих розрахунків залежать техніко-економічні показники всієї системи: діаметри трубопроводів,

продуктивність насосних станцій, потужність очисних споруд, об'єми накопичувальних ємностей та надійність роботи системи в цілому.

Згідно з ДБН В.2.5-64:2012, каналізаційні мережі населених пунктів та промислових об'єктів розраховуються на пропуск максимальних секундних витрат стічних вод. При цьому розрахункові витрати визначаються окремо для кожної системи каналізації:

- **K1** – господарсько-побутова каналізація (відведення стоків від санітарних приладів);
- **K3** – виробнича каналізація (відведення технологічних стоків, у тому числі після миття та дезінфекції);
- **K13** – каналізація гноєвидалення (спеціалізована система для відведення гнойових стоків на свинокомплексах);
- **K2** – дощова (зливова) каналізація (відведення поверхневих стоків з території).

Об'єктом проектування є реконструкція комплексу будівель та споруд за адресою: Дніпропетровська обл., Верхньодніпровський район, смт Дніпровське, вул. Київська, буд. 1а — під свиноферму з закінченим виробничим циклом. Загальна потужність комплексу з урахуванням оборотного поголів'я поросят і підсвинків у перерахунку на загальну кількість дорослого поголів'я становить до 31 тис. голів на рік. Згідно зі штатним розкладом на підприємстві налічується 35 працюючих.

Проектом також передбачаються накопичувальні ємності для збору різних категорій стічних вод з подальшим вивезенням спеціалізованими підприємствами на утилізацію згідно з договорами.

Нижче наведено детальний розрахунок обсягів водовідведення для кожної з систем.

2.1 Визначення розрахункових витрат побутових стічних вод (К1)

2.1.1 Норми водовідведення та вихідні дані

Норми водовідведення для розрахунку побутових стоків від персоналу приймаються відповідно до ДБН В.2.5-64:2012. Для працівників промислових підприємств, які користуються душовими, норма водовідведення становить 45 л/(доб·чол).

Кількість працюючих на свинокомплексі становить 35 осіб. Таким чином, середньодобова витрата побутових стічних вод визначається за формулою:

$$Q_{\text{доб,поб}} = (N \cdot q) / 1000, \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.1)$$

де N – кількість працюючих, чол; q – норма водовідведення на одного працюючого, л/(доб·чол).

Підставляючи значення, отримуємо:

$$Q_{\text{доб,поб}} = (35 \times 45) / 1000 = 1,575 \text{ м}^3/\text{доб}.$$

Окрім стоків безпосередньо від персоналу, до системи побутової каналізації (К1) надходять стоки від санітарних приладів, розташованих в адміністративному корпусі, санпропускнику та інших допоміжних будівлях. Внутрішня побутова каналізаційна мережа адміністративного корпусу проектується для відведення побутових стоків від санітарних приладів.

Фактичне водовідведення по адміністративному корпусу становить 3,03 м³/добу (таблиця 2.1). Це значення включає як стоки безпосередньо від персоналу, так і витрати на господарсько-питні потреби самої будівлі.

Таблиця 2.1 – Розрахункові витрати побутових стічних вод адміністративного корпусу

Показник	Позначення	Значення
Середньодобова витрата	$Q_{\text{доб,К1}}$	3,03 м³/доб
Середньогодинна витрата	$Q_{\text{год,К1}}$	1,80 м³/год
Максимальна секундна витрата	$q_{\text{макс,К1}}$	1,51 л/с

2.1.2 Коефіцієнти нерівномірності водовідведення

Для визначення максимальних розрахункових витрат, за якими виконується гідравлічний розрахунок мереж, використовуються коефіцієнти нерівномірності

водовідведення. Згідно з ДБН В.2.5-75:2013, загальні коефіцієнти нерівномірності припливу стічних вод наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Загальні коефіцієнти нерівномірності припливу стічних вод у населених пунктах (ДБН В.2.5-75:2013)

Середня витрата стічних вод, л/с	5	10	20	50	100	300	500	1000	5000 і більше
Максимальний $K_{gen,max}$	2,10	1,90	1,70	1,60	1,55	1,50	1,47	1,44	1,44
Мінімальний $K_{gen,min}$	0,45	0,50	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71	0,71

Примітка. При проміжних значеннях середньої витрати коефіцієнти нерівномірності визначаються інтерполяцією.

Для адміністративного корпусу при середній витраті 1,51 л/с (що менше 5 л/с) розрахункові витрати визначаються безпосередньо за нормами водовідведення згідно з ДБН В.2.5-64:2012, що й відображено в таблиці 2.1.

2.1.3 Розрахунок максимальних витрат для виробничих корпусів

Для виробничих корпусів (свинарники-відгодівельники, свинарник для відлучених поросят, свинарник для опоросів, свинарник поросних маток, свинарник для холостих та запліднених маток) проектом передбачено значні обсяги водоспоживання та водовідведення. Розрахункові витрати води на виробничі потреби наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові витрати води на виробничі потреби виробничих корпусів

Корпус	Витрата води, м³/доб	Витрата на напування, м³/доб	Витрата води, м³/год
Корпус 1	33,7	13,49	3,513
Корпус 2	33,7	13,49	3,513
Корпус 3	33,7	13,49	3,513
Корпус 4	33,7	13,49	3,513
Корпус 5	24,4	9,77	2,543
Корпус 6	14,8	4,92	1,538
Корпус 7	19,3	9,26	2,01

Корпус	Витрата води, м³/доб	Витрата на напування, м³/доб	Витрата води, м³/год
Корпус 8	17,7	7,9	1,841
Разом	211,0	85,8	22,0

Примітка. Значна частина води (85,8 м³/доб) використовується на напування тварин і не утворює стічних вод.

2.2 Визначення витрат виробничих стічних вод (К3)

Виробничі стічні води (система К3) на свинокомплексі утворюються в результаті:

- миття та дезінфекції технологічного обладнання;
- миття приміщень для утримання свиней;
- санітарної обробки.

Згідно з ВНТП-АПК-02.05, миття і дезінфекція приміщень передбачаються водою питної якості з температурою 55–65 °С з розрахунку 15 л/м² оброблюваної площі (підлога, стіни).

Розрахункові витрати виробничих стічних вод для адміністративного корпусу (К3) становлять 0,34 м³/добу. Крім того, загальні витрати води на миття та дезінфекцію приміщень по всьому комплексу становлять 30,9 м³/добу. Ці стоки після використання спрямовуються в систему виробничої каналізації.

Проектом передбачено, що технологічне устаткування підключається до каналізації з розривом струменя не менше 20 мм від верху приймальної воронки. Для затримання жирів перед скиданням у накопичувальну ємність проектом передбачено облаштування жируловлювача.

Таблиця 2.4 – Розрахункові витрати виробничих стічних вод (К3)

Показник	Значення
Витрата виробничих стоків (адмінкорпус)	0,34 м³/доб; 0,79 л/с
Витрата на миття та дезінфекцію (загальна)	30,9 м³/доб
Накопичувальна ємність К3	15 м³

2.3 Визначення витрат стічних вод системи гноєвидалення (K13)

Система гноєвидалення (K13) є однією з найважливіших складових водовідведення свиногокомплексу. Згідно з ВНТП-АПК-09.06, на свинарських підприємствах застосовується самопливно-вакуумна система періодичної дії. Система гноєвидалення складається з гнойових труб Ø250 мм у виробничих корпусах та магістрального колектора Ø315 мм.

Основні витрати гнойових стоків (K13) наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахункові витрати гнойових стоків (K13)

Показник	Значення
Гнойові стоки з корпусів утримання тварин	123,3 м³/доб
в т.ч. від миття та дезінфекції	30,5 м³/доб
Гнойові стоки від адміністративного корпусу (K13)	0,03 м³/доб
Гнойові стоки від карантину	1,64 м³/доб
Гнойові стоки з корпусів	107,5 м³/доб
Загальне надходження гнойових стоків	~125 м³/доб

Гнойові стоки самопливом надходять до накопичувальної ємності гною. Проектом передбачена накопичувальна ємність гнойових стоків об'ємом 300 м³ та дві лагуни для рідкої фракції гною об'ємом 14 500 м³ кожна.

Для перекачування гнойових стоків з накопичувальної ємності проектом передбачено занурювальні насоси типу ТМР 075 з наступними характеристиками:

- потужність двигуна – 7,5 кВт, 1450 об/хв;
- продуктивність – від 80 до 180 м³/год;
- максимальний тиск – 1,2 бар;
- вага – близько 160 кг.

Після накопичення гнойові стоки спрямовуються на установку анаеробної біологічної обробки (виробництво біогазу). До системи біологічної обробки гною входять: комбінована ємність для змішування гною та силосу, ферментатор, пост-ферментатор, сепаратор, а також дві когенераційні установки електричною потужністю 660 кВт кожна.

2.4 Визначення витрат дощових (злизових) стічних вод (K2)

Система дощової каналізації (K2) призначена для збору та відведення поверхневих стоків з території комплексу. Розрахунок витрат дощових вод виконується згідно з ДБН В.2.5-75:2013 за методом граничних інтенсивностей.

Загальна площа території комплексу становить 18,14 га. Розрахунок річного об'єму поверхневого стоку наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок річного об'єму поверхневих стоків

Показник	Значення
Загальна площа водозбору	18,14 га
Площа кровель	4,485 га
Площа газонів	6,829 га
Площа твердих покриттів	2,467 га
Середньодобовий шар опадів (теплий період)	327 мм
Середньодобовий шар опадів (холодний період)	223 мм
Річний об'єм дощових вод	23 845,756 м³/рік
Річний об'єм талих вод	14 975,404 м³/рік
Річний об'єм поливомийних вод	925,125 м³/рік
Загальний річний об'єм поверхневих стоків	39 746,285 м³/рік

Для очищення поверхневих стоків проектом передбачена локальна очисна споруда ЛОС ПБМО-700-60 «RAINPARK» продуктивністю 60 л/с. Очищення здійснюється за схемою: пісковловлювач → відстійник з коалесцентними блоками → фільтр з пінополіуретану. Концентрація забруднень після очищення становить: завислі речовини – не більше 15 мг/л, нафтопродукти – не більше 0,3 мг/л.

2.5 Зведені розрахункові витрати стічних вод

На основі виконаних розрахунків та даних проектної документації зведені витрати стічних вод по об'єктах наведені в таблицях 2.7–2.8.

Таблиця 2.7 – Зведені розрахункові витрати стічних вод адміністративного корпусу

Категорія стоків	Позначення	Витрата, м³/доб	Витрата, м³/год	Витрата, л/с
Побутові стоки	K1	3,03	1,80	1,51

Категорія стоків	Позначення	Витрата, м³/доб	Витрата, м³/год	Витрата, л/с
Виробничі стоки	K3	0,34	0,90	0,79
Гноєві стоки	K13	0,03	–	–
Разом по об'єкту	–	3,40	2,70	2,30

Таблиця 2.8 – Зведені розрахункові витрати стічних вод по всьому комплексу

Категорія стоків	Складові	Витрата, м³/доб	Примітки
Господарсько-побутові (K1)	Від АБК, санпропускника тощо	25,5	–
Виробничі (K3)	Миття/дезінфекція, технологічні стоки	30,9	–
Гноєві стоки (K13)	Від корпусів утримання тварин	123,3	–
Гноєві стоки (K13)	Від корпусів	107,5	додатково
Загальна розрахункова витрата	–	~179,7	–

Примітка. Витрата дощових вод є короткочасною та не підсумовується повністю з постійними витратами; максимальна витрата дощових вод – 60 л/с.

2.6 Побудова графіка надходження стічних вод

Для виявлення періодів максимального навантаження на каналізаційну мережу та очисні споруди будується графік надходження стічних вод. Розподіл витрат за годинами доби виконується з використанням коефіцієнтів годинної нерівномірності.

Згідно з ДБН В.2.5-75:2013, для промислових підприємств коефіцієнти годинної нерівномірності визначаються за технологічним регламентом. Для свиногокомплексів характерний наступний режим водовідведення (рисунки 2.1):

- мінімальне водовідведення – у нічні години (0–6);
- поступове зростання – з початком робочої зміни (6–8);
- максимум – у період активного миття та дезінфекції (10–12 та 14–16);
- зниження – у вечірні години (18–24).

Таблиця 2.9 – Орієнтовний годинний розподіл надходження стічних вод

Години доби	Коефіцієнт нерівномірності	Витрата, м³/год (для корпусів)	Примітки
0–4	0,4	1,5–2,0	Мінімальне водовідведення
4–6	0,5	2,0–2,5	Початок роботи
6–8	0,7	3,0–4,0	Ранкова зміна
8–12	1,2	8,0–10,0	Пік водовідведення
12–14	1,0	6,0–8,0	Обідня перерва
14–16	1,1	7,0–9,0	Друга половина зміни
16–18	1,3	9,0–11,0	Максимальне водовідведення
18–20	0,9	6,0–7,0	Зменшення водовідведення
20–24	0,6	3,0–4,0	Вечірні години

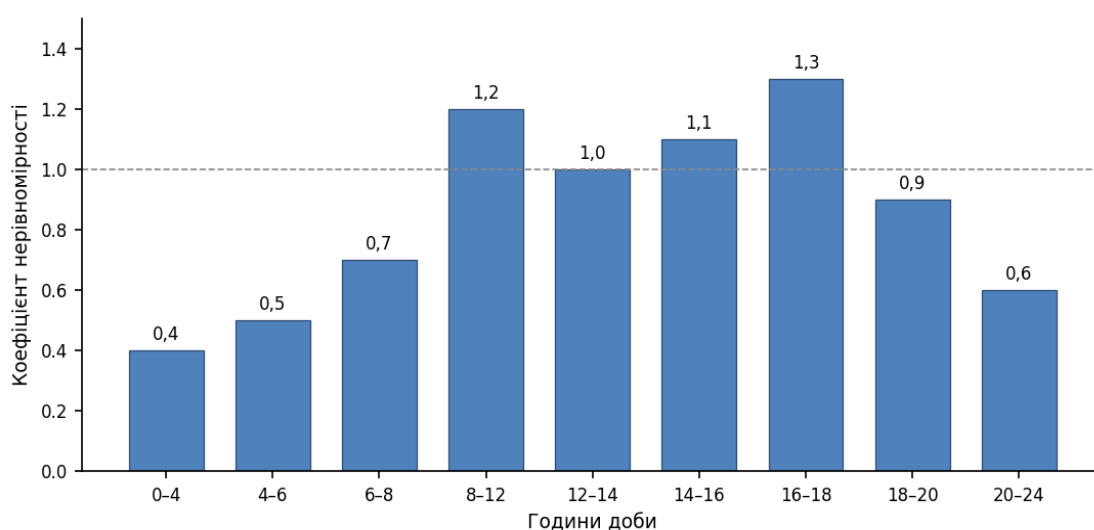


Рисунок 2.1 – Графік надходження стічних вод від виробничих корпусів свиногокомплексу (типовий)

Примітка. Конкретні значення витрат за годинами доби уточнюються при розробці технологічного регламенту роботи комплексу.

Отриманий графік є основою для розрахунку регулюючих ємностей, вибору режиму роботи насосних станцій та визначення необхідної потужності очисних споруд.

За результатами визначення обсягів водовідведення для свиногокомплексу в смт Дніпровське можна зробити наступні висновки:

1. **Загальне розрахункове водовідведення** по всьому комплексу (без урахування дощових стоків) становить близько 179,7 м³/добу, з яких 123,3 м³/добу ($\approx 68,6$ %) припадає на гноєві стоки (K13), 30,9 м³/добу ($\approx 17,2$ %) – на виробничі стоки (K3), а решта – на побутові стоки (K1).
2. **Побутові стоки (K1)** від адміністративного корпусу становлять 3,03 м³/добу при максимальній секундній витраті 1,51 л/с; внутрішні мережі проектується з труб ПП-100 Ø50 та Ø110 мм з ухилами 0,03 та 0,02 відповідно. Накопичувальна ємність для K1 становить 40 м³.
3. **Виробничі стоки (K3)** від адміністративного корпусу становлять 0,34 м³/добу, а загальновиробничі витрати на миття та дезінфекцію досягають 30,9 м³/добу; перед скиданням у накопичувальну ємність (15 м³) передбачено жируловлювач.
4. **Гноєві стоки (K13)** є домінуючою категорією стоків – 123,3 м³/добу з корпусів утримання тварин, а додатково 107,5 м³/добу. Система гноєвидалення виконана за самопливно-вакуумною схемою з трубами Ø250 мм та магістральним колектором Ø315 мм.
5. **Накопичувальні ємності** за проектом передбачені: для K1 – 40 м³, для K3 – 15 м³, для K13 – 300 м³ та дві лагуни для освітленої фракції гною об'ємом 14 500 м³ кожна.
6. **Дощові стоки (K2)** з території комплексу становлять 39 746,285 м³/рік; для їх очищення передбачена ЛОС «RAINPARK» продуктивністю 60 л/с з очищенням до концентрацій: завислі речовини ≤ 15 мг/л, нафтопродукти $\leq 0,3$ мг/л.
7. **Для перекачування гнойових стоків** з накопичувальної ємності передбачено занурювальні насоси ТМР 075 (7,5 кВт, 80–180 м³/год).
8. **Отримані розрахункові витрати** є підставою для подальшого гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж, підбору насосного обладнання та проектування очисних споруд.

2.2 Трасування та проєктування водовідвідної мережі

2.2.1 Складання схеми притоку стічних вод до головного колектора

Трасування каналізаційних мереж виконується на основі генерального плану майданчика з урахуванням рельєфу місцевості, розташування будівель-джерел стоків, інженерно-геологічних умов та перспектив розвитку об'єкта.

Басейни каналювання визначаються за напрямком природного стоку поверхневих вод. Територія свиногокомплексу має загальний уклон у південно-східному напрямку, що обумовлює трасування головних колекторів у цьому ж напрямку.

Джерелами стічних вод на майданчику є:

- адміністративний корпус;
- виробничі корпуси (свинарники-відгодівельники, свинарник для відлучених поросят, свинарник для опоросів, свинарник поросних маток, свинарник для холостих та запліднених маток);
- санпропускник;
- кормоцех;
- карантин;
- котельня.

Схема притоку стічних вод до головного колектора наведена на рисунку 2.2. Система каналізації – роздільна, тобто стоки різних категорій (К1, К3, К13, К2) відводяться окремими мережами. Об'єднання потоків різних систем не допускається.

Таблиця 2.10 – Джерела надходження стічних вод за системами каналізації

Система	Джерела стоків	Напрямок транспортування
К1 (побутова)	Адмінкорпус, санпропускник	Самопливом до накопичувальної ємності 40 м ³
К3 (виробнича)	Адмінкорпус, виробничі корпуси	Самопливом через жироуловлювач до ємності 15 м ³
К13 (гноєвидалення)	Усі виробничі корпуси	Самопливно-вакуумна система → КНС → напірний гноєпровід

Система	Джерела стоків	Напрямок транспортування
К2 (дощова)	Покрівлі, тверді покриття, газони	Самопливом до ЛОС «RAINPARK» → ставки-накопичувачі

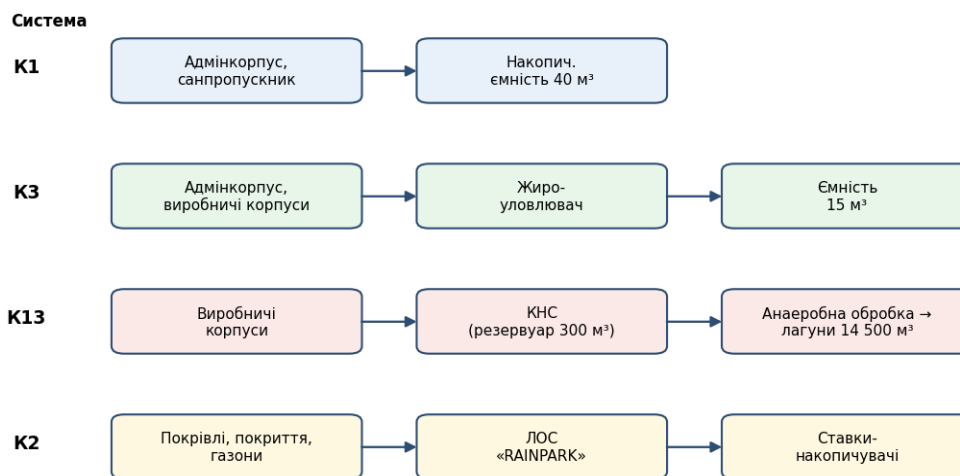


Рисунок 2.2 – Схема притоку стічних вод до головного колектора

Примітка. На рисунку 2.2 умовно показано: 1 – виробничі корпуси; 2 – адмінкорпус; 3 – санпропускник; 4 – кормоцех; 5 – карантин; 6 – котельня; 7 – жируловлювач; 8 – накопичувальна ємність К1 (40 м³); 9 – накопичувальна ємність К3 (15 м³); 10 – КНС; 11 – напірний гноєпровід; 12 – установка анаеробної обробки; 13 – лагуни (14 500 м³); 14 – ЛОС дощових стоків; 15 – ставки-накопичувачі.

2.2.2 Трасування вуличної мережі та колекторів

Трасування каналізаційних мереж виконано згідно з вимогами ДБН В.2.5-75:2013 [2] з урахуванням наступних принципів:

- прокладання трубопроводів за рельєфом місцевості для забезпечення самопливного режиму;
- мінімальне заглиблення при дотриманні нормативних вимог;
- найкоротший шлях від джерела стоків до колектора або насосної станції;
- дотримання нормативних відстаней до інженерних мереж та фундаментів будівель.

Матеріали та діаметри труб. Для самопливних мереж господарсько-побутової (К1) та виробничої (К3) каналізації прийнято труби з поліпропілену (ПП-100) та полівінілхлориду (ПВХ) діаметрами 50 мм та 110 мм згідно з ДСТУ Б В.2.5-32:2007. Для системи гноєвидалення (К13) застосовуються труби ПВХ діаметрами 160 мм, 250 мм (гнойові труби під ваннами) та 315 мм (магістральний колектор). Напірні гноєпроводи виконані з поліетиленових труб ПЕ 100 SDR11 діаметрами 160 мм та 225 мм.

Відповідно до ДБН В.2.5-75:2013 [2], найменші діаметри труб для вуличної мережі господарсько-побутової каналізації прийнято 200 мм, для внутрішньоквартальної – 150 мм.

Глибина закладання трубопроводів. Мінімальна глибина закладання лотка трубопроводу визначається з умови захисту від промерзання та механічних навантажень. Нормативна глибина промерзання ґрунту для Дніпропетровської області згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 становить 0,8–1,0 м. Мінімальна глибина закладання лотка труби прийнята на 0,3 м нижче глибини промерзання для труб діаметром до 500 мм, але не менше 0,7 м до верху труби.

Розрахункова мінімальна глибина закладання:

- для труб Ø110 мм: $H_{\min} = 0,8 + 0,3 = 1,1$ м до лотка (0,7 м до верху труби при товщині стінки $\sim 0,004$ м – задовольняє);
- для труб Ø250 мм: $H_{\min} = 0,8 + 0,5 = 1,3$ м до лотка.

Каналізаційні колодязі. На мережі передбачено влаштування оглядових колодязів:

- у місцях приєднань;
- у місцях зміни напрямку, ухилу та діаметра трубопроводів;
- на прямих ділянках згідно з ДБН В.2.5-75:2013 [2]: для труб діаметром 150 мм – через 35 м; 200–450 мм – через 50 м; 500–600 мм – через 75 м.

Таблиця 2.11 – Прийняті параметри водовідвідної мережі

Ділянка мережі	Система	Матеріал труб	Діаметр, мм	Спосіб прокладання	Тип колодязів	Відстань між колодязями, м
Відвідні лінії від будівель	K1, K3	ПП-100/ПВХ	50/110	Під/над підлогою	Ревізії/прочистки	—
Внутрішньоквартальна мережа	K1, K3	ПВХ	150–200	Підземне траншейне	Оглядові (Ø1000)	50
Гнойові труби	K13	ПВХ	250	Під підлогою корпусів	—	—
Магістральний колектор K13	K13	ПВХ	315	Підземне траншейне	Оглядові (Ø1500)	50
Напірний гноєспровід	K13	ПЕ 100 SDR11	160/225	Надземне/підземне	Камери перемикання	—

2.3 Гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі

2.3.1 Визначення розрахункових витрат на ділянках

Розрахункова мережа розбивається на окремі розрахункові ділянки – відрізки трубопроводу між вузловими точками (колодязями) з постійною витратою стічних вод.

Для кожної ділянки визначаються види витрат:

- **попутна (шляхова) витрата** – надходить від приєднаних до ділянки будівель рівномірно по довжині;
- **транзитна витрата** – надходить з вище розташованих ділянок;
- **бічна витрата** – надходить від приєднаних до вузла бічних ліній;
- **зосереджена витрата** – надходить від окремих великих об'єктів.

Питома витрата стічних вод визначається за формулою:

$$q_{\text{пит}} = \Sigma Q / \Sigma L, \text{ л/(с} \cdot \text{м)} \quad (2.2)$$

де ΣQ – сумарна витрата стічних вод, що надходять на розрахункову ділянку, л/с; ΣL – загальна довжина ділянок, м.

Розрахункова витрата на ділянці визначається за формулою:

$$q_{\text{розр}} = (q_{\text{попут}} + q_{\text{транз}} + q_{\text{бічн}} + q_{\text{зосер}}) \cdot K_{\text{ген}}, \text{ л/с} \quad (2.3)$$

де K_{gen} – загальний коефіцієнт нерівномірності припливу стічних вод, який приймається за таблицею 2.2 [2].

Для попередніх розрахунків при середній витраті стічних вод 5–50 л/с рекомендовано приймати $K_{gen,max} = 1,6–2,1$.

Таблиця 2.12 – Визначення розрахункових витрат по ділянках мережі К1 (фрагмент)

Ділянка	Довжина L, м	Попутна витрата, л/с	Транзитна витрата, л/с	Бічна витрата, л/с	K_{gen}	Розрахункова витрата qрозр, л/с
1–2	45	0,5	–	–	2,10	1,05
2–3	55	0,8	1,05	–	2,00	3,70
3–4	50	0,4	3,70	1,51 (адмінкорпус)	1,80	10,10
4–5 (до накопичувача)	120	–	10,10	–	1,60	16,16

2.3.2 Гідравлічний розрахунок самопливних колекторів

Гідравлічний розрахунок самопливних (безнапірних) трубопроводів виконується за формулами рівномірного руху рідини.

Розрахункова витрата стічних вод визначається за формулою:

$$Q = \omega \cdot v, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.4)$$

де ω – площа живого перерізу потоку, м^2 ; v – середня швидкість руху стічних вод, $\text{м}/\text{с}$.

Швидкість руху стічних вод визначається за формулою Шезі:

$$v = C \cdot \sqrt{(R \cdot i)}, \text{ м}/\text{с} \quad (2.5)$$

де C – коефіцієнт Шезі, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$; R – гідравлічний радіус, м ; i – гідравлічний ухил (при рівномірному русі приймається рівним ухилу дна труби).

Коефіцієнт Шезі визначається за формулою Маннінга:

$$C = (1/n) \cdot R^{1/6}, \text{ м}^{0,5}/\text{с} \quad (2.6)$$

де n – коефіцієнт шорсткості (для ПВХ та ПП труб приймається $n = 0,011–0,013$).

Для гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж використовуються таблиці гідравлічних розрахунків (типу таблиць Лукіних), які дозволяють за

заданими витратою Q , ухилом i та діаметром D визначити наповнення h/D та швидкість v .

Згідно з ДБН В.2.5-75:2013 [2], при розрахунку необхідно дотримуватись наступних обмежень:

- **найменша швидкість руху стічних вод** (незамулююча) – залежить від діаметра та наповнення (таблиця 2.13);
- **найбільша швидкість руху** – для неметалевих труб не більше 4 м/с;
- **найбільше розрахункове наповнення** – для труб діаметром 150–300 мм $h/D \leq 0,6$; 300–450 мм $h/D \leq 0,7$; 450–900 мм $h/D \leq 0,75$; понад 900 мм $h/D \leq 0,8$.

Таблиця 2.13 – Найменші розрахункові швидкості руху стічних вод (за ДБН В.2.5-75:2013)

Діаметр D , мм	Найменша швидкість $v_{\min}$, м/с
150–250	0,7
300–400	0,8
450–500	0,9
600–800	1,0
900	1,15
1000–1200	1,20
1500	1,30
Понад 1500	1,50

Таблиця 2.14 – Гідравлічний розрахунок мережі К1

Ділянка	Q , л/с	D , мм	Матеріал	i	h/D	v , м/с	$v_{\min}$, м/с	Примітки
1–2	1,05	150	ПВХ	0,008	0,15	0,72	0,70	–
2–3	3,70	150	ПВХ	0,008	0,31	0,85	0,70	–
3–4	10,10	200	ПВХ	0,007	0,40	0,92	0,70	Приєднання адмінкорпусу
4–5	16,16	200	ПВХ	0,007	0,52	1,08	0,70	–

Примітка. Розрахунок виконано за таблицями гідравлічних розрахунків каналізаційних труб.

Гідравлічний розрахунок системи гноєвидалення (К13). Система гноєвидалення на свинокомплексі виконана за самопливно-вакуумною схемою

періодичної дії згідно з ВНТП-АПК-09.06 [5]. Гнойові стоки (вологість 90–95 %) мають підвищену в'язкість порівняно зі звичайними стічними водами, що потребує збільшення розрахункових ухилів.

Розрахункові параметри мережі K13 наведені в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Гідравлічний розрахунок мережі гноєвидалення (K13)

Ділянка	Q, м³/доб	Q, л/с	D, мм	Матеріал	i	h/D	v, м/с	Примітки
Гнойові труби під ваннами	125	~1,45	250	ПВХ	0,005	0,60	0,85	Самопливна
Магістральний колектор	125	~1,45	315	ПВХ	0,005	0,45	1,05	Самопливна
Самопливний трубопровід до КНС	125	~1,45	315	ПВХ	0,005	0,45	1,05	—
Напірний гноєпровід (ПЕ)	125	~1,45	160	ПЕ 100	—	повне	1,20	Напірний режим

Примітка. Швидкості руху гнойових стоків прийнято з урахуванням вимог ВНТП-АПК-09.06 щодо незамулення.

2.3.3 Побудова поздовжніх профілів колекторів

Поздовжній профіль колектора є одним з основних креслень проекту каналізаційної мережі. Рекомендовані масштаби для побудови профілю:

- горизонтальний – 1:5000, 1:2000, 1:1000 або 1:500;
- вертикальний – 1:500, 1:200, 1:100 або 1:50.

На поздовжньому профілі наносяться:

- лінія поверхні землі (проектна та натуральна);
- проектна лінія лотка труби;
- глибина закладання трубопроводу;
- місця розташування колодязів з їх номерами;
- відстані між колодязями;
- діаметри, матеріали та ухили трубопроводів на кожній ділянці.

З'єднання труб у колодязях виконується:

- «**по лотку**» – для труб однакового діаметра (лотки з'єднуються на одній відмітці);
- «**по шелизі**» – для труб різного діаметра (верхні твірні труб з'єднуються на одній відмітці);
- «**по рівню води**» – при різних наповненнях з'єднання виконується за розрахунковими рівнями води.

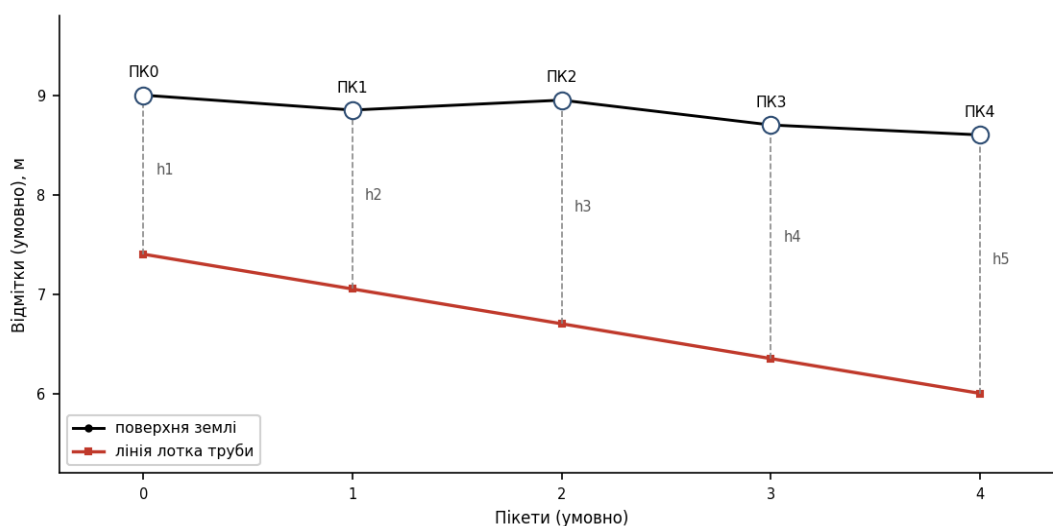


Рисунок 2.3 – Поздовжній профіль головного колектора К1 (схематично)

Примітка. На рисунку 2.3 умовно показано: ПК0 – початковий колодязь; ПК1–ПК4 – оглядові колодязі; h1–h4 – глибини закладання; червоним кольором – лінія лотка труби; чорним – лінія поверхні землі. Остаточні відмітки уточнюються за результатами геодезичної зйомки.

Для системи гноєвидалення (К13) побудова поздовжнього профілю виконується окремо з урахуванням специфіки самопливно-вакуумного режиму. Ухили колекторів К13 прийнято не менше 0,005, що забезпечує самоочищення трубопроводів.

2.4 Проектування каналізаційної насосної станції

2.4.1 Визначення розрахункових витрат і напору

Каналізаційна насосна станція (КНС) призначена для перекачування гнойових стоків (система К13) з накопичувальної ємності об'ємом 300 м³ до установки анаеробної біологічної обробки (біогазової установки).

Розрахункова продуктивність КНС приймається за максимальним припливом стічних вод (гнойових стоків) згідно з розділом 2.1: $Q_{\text{макс.сек}} = 125 \text{ м}^3/\text{доб} \approx 1,45 \text{ л/с}$. З урахуванням періодичності надходження стоків розрахункова годинна продуктивність насосів приймається з коефіцієнтом запасу 1,2:

$$Q_{\text{нас}} = (Q_{\text{доб}} \cdot k_{\text{зап}}) / t_{\text{роб}} = (125 \cdot 1,2) / 8 = 18,75 \approx 19 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.7)$$

де $t_{\text{роб}}$ – прийнята тривалість роботи насосів за добу, год (приймаємо 8 год).

Визначення повного напору насоса. Повний напір насоса визначається за формулою:

$$H = H_{\Gamma} + \Sigma h_{\text{тр}} + h_{\text{вільн}}, \text{ м} \quad (2.8)$$

де H_{Γ} – геометрична висота підйому, м; $\Sigma h_{\text{тр}}$ – сумарні втрати напору по довжині та місцеві у всмоктувальному і напірному трубопроводах, м; $h_{\text{вільн}}$ – вільний напір у точці виливу (приймається 2–3 м).

Геометрична висота підйому визначається за формулою:

$$H_{\Gamma} = \nabla_{\text{вил}} - \nabla_{\text{мін.рівень}} \quad (2.9)$$

де $\nabla_{\text{вил}}$ – відмітка точки виливу (рівень завантаження ферментатора); $\nabla_{\text{мін.рівень}}$ – мінімальний рівень у приймальному резервуарі КНС.

Для розрахунку приймаємо: $\nabla_{\text{вил}} = 130,00 \text{ м}$; $\nabla_{\text{мін.рівень}} = 122,00 \text{ м}$. Тоді $H_{\Gamma} = 130,00 - 122,00 = 8,00 \text{ м}$.

Втрати напору по довжині напірного трубопроводу визначаються за формулою:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot (L / D) \cdot (v^2 / 2g), \text{ м} \quad (2.10)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; L – довжина напірного трубопроводу, м; D – внутрішній діаметр, м; v – швидкість руху стічних вод, м/с; g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Для сталевих труб коефіцієнт λ визначається за формулою:

$$\lambda = 0,11 \cdot (\Delta/D + 68/\text{Re})^{0,25} \quad (2.11)$$

де Δ – еквівалентна шорсткість (для сталі $\Delta = 0,2\text{--}0,4 \text{ мм}$); Re – число Рейнольдса.

Для попереднього розрахунку приймаємо $\lambda = 0,025$.

Розрахунок втрат напору для напірного гноєпроводу ($L = 150$ м, $D = 0,160$ м, $v = 1,2$ м/с, $\lambda = 0,025$, $g = 9,81$ м/с²):

$$h_{\text{тр}} = 0,025 \cdot (150 / 0,160) \cdot (1,2^2 / (2 \cdot 9,81)) = 0,025 \cdot 937,5 \cdot 0,0735 = 1,72 \text{ м.}$$

Місцеві втрати напору приймаються у розмірі 20–30 % від втрат по довжині:

$$h_{\text{м}} = 0,25 \cdot 1,72 = 0,43 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$\Sigma h_{\text{тр}} = 1,72 + 0,43 = 2,15 \text{ м.}$$

Повний напір насоса:

$$H = 8,00 + 2,15 + 2,00 = 12,15 \text{ м.}$$

Відповідно до розрахунку повний напір насоса повинен становити не менше 12,15 м вод. ст.

2.4.2 Вибір насосного устаткування та режиму роботи

Для перекачування гнойових стоків проектом передбачено занурювальні насоси типу ТМР 075 з наступними характеристиками (таблиця 2.16).

Таблиця 2.16 – Технічні характеристики насоса ТМР 075

Параметр	Значення
Тип насоса	Занурювальний, фекальний
Потужність двигуна	7,5 кВт
Частота обертання	1450 об/хв
Продуктивність	80–180 м ³ /год
Максимальний тиск	1,2 бар (~12,2 м вод. ст.)
Вага	~160 кг
Захист	IP68, клас ізоляції F (155 °C)
Матеріал корпусу	Сірий чавун з покриттям
Робоче колесо	Зі шнеком та подрібнюючим пристроєм

Продуктивність насоса (80–180 м³/год) значно перевищує розрахункову потребу (19 м³/год), що забезпечує роботу насоса в періодичному режимі з можливістю швидкого відкачування накопичувальної ємності. Згідно з технічною документацією, насос ТМР 075 забезпечує максимальний тиск 1,2 бар, що відповідає напору ~12,2 м вод. ст., що збігається з розрахунковим значенням (12,15 м).

Кількість насосів: прийнято два насоси – один робочий, один резервний. Резервний насос забезпечує безперебійність роботи системи гноєвидалення у разі виходу з ладу основного агрегату.

Режим роботи насосів – автоматичний, за рівнем у приймальному резервуарі: при досягненні верхнього рівня включається робочий насос, при зниженні до нижнього рівня – вимикається. Для захисту від перевантаження та «сухого ходу» передбачено відповідні датчики та прилади контролю.

Робоча точка насоса визначається на сумісній характеристиці «насос–мережа». Для насоса ТМР 075 робоча точка при витраті 100–120 м³/год знаходиться в зоні максимального ККД.

2.4.3 Розрахунок приймального резервуара

Приймальний резервуар КНС призначений для вирівнювання (регулювання) нерівномірного надходження стічних вод та створення умов для роботи насосів у раціональному режимі.

Регулюючий (активний) об'єм резервуара визначається за формулою:

$$W_{\text{рег}} = Q_{\text{год.макс}} / (4 \cdot z), \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

де $Q_{\text{год.макс}}$ – максимальна годинна витрата гнойових стоків, м³/год; z – допустиме число включень насоса за годину (для потужних насосів $z \leq 6$).

Максимальна годинна витрата гнойових стоків:

$$Q_{\text{год.макс}} = (Q_{\text{доб}} \cdot K_{\text{год}}) / 24 = (125 \cdot 1,5) / 24 = 7,81 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо $z = 6$. Тоді:

$$W_{\text{рег}} = 7,81 / (4 \cdot 6) = 0,33 \text{ м}^3.$$

Отриманий регулюючий об'єм є мінімально необхідним. Фактичний об'єм накопичувальної ємності гною за проектом становить 300 м³, що значно перевищує розрахунковий регулюючий об'єм. Такий запас забезпечує:

- можливість накопичення стоків на період до 2–3 діб;
- роботу насосів у раціональному режимі з мінімальною частотою включень;
- резервний об'єм на випадок аварійної зупинки насосів.

Мертвий об'єм резервуара (об'єм нижче мінімального рівня включення насоса) приймається з умови незатоплення всмоктувального патрубку насоса. Для насоса ТМР 075 мертвий об'єм становить приблизно 5–10 м³.

Таблиця 2.17 – Параметри приймального резервуара КНС

Параметр	Значення
Повний об'єм резервуара	300 м³
Регулюючий об'єм (розрахунковий)	0,33 м³
Мертвий об'єм	10 м³
Корисний об'єм	290 м³
Розміри в плані	13,6 × 13,6 м
Глибина	2,7 м
Матеріал	Склопластик (Standartpark)
Тип установки	Підземна

Час перебування стоків у резервуарі при рівномірному припливі:

$$t_{\text{пер}} = W_{\text{рез}} / Q_{\text{доб}} = 300 / 125 = 2,4 \text{ доби} \approx 58 \text{ год.}$$

Такий час перебування є допустимим для гнойових стоків (без доступу повітря анаеробне бродіння не відбувається інтенсивно).

2.5 Розрахунок споруд очищення стічних вод

Очищення стічних вод є завершальною та однією з найвідповідальніших ланок системи водовідведення, від якої залежать санітарно-епідеміологічний стан території та захист довкілля від забруднення. Залежно від походження та складу забруднень застосовують різні методи очищення, а для конкретного об'єкта технологічну схему добирають з урахуванням витрат, концентрації та характеру забруднень, а також умов відведення або утилізації очищених стоків. Для свиногокомплексу, що працює за замкненою схемою, очисні споруди мають не лише знешкоджувати стоки, а й забезпечувати корисну утилізацію їх компонентів — енергії та поживних речовин.

Проектування очисних споруд тваринницьких підприємств регламентується нормативними документами, які встановлюють вимоги до збирання, обробки, знезараження та використання гною й стічних вод, а також до охорони ґрунтів і

водних об'єктів від забруднення. Дотримання цих вимог є обов'язковою умовою введення комплексу в експлуатацію та запорукою його екологічної безпеки. Прийняті в розділі технічні рішення відповідають положенням ВНТП-АПК-09.06 [5], ДБН В.2.5-75:2013 [2] та чинним санітарним нормам.

Відповідно до прийнятої технологічної схеми водовідведення свиногокомплексу, очищення стічних вод здійснюється за трьома самостійними напрямками (рисунк 2.4):

- **Гнойові стоки (K13)** – проходять повний цикл анаеробної біологічної обробки з утилізацією біогазу та отриманням органічних добрив;
- **Дощові стоки (K2)** – очищуються на локальних очисних спорудах (ЛОС) механіко-сорбційного типу;
- **Побутові стоки (K1) та виробничі стоки (K3)** – накопичуються в герметичних ємностях і вивозяться спеціалізованим автотранспортом на утилізацію згідно з договорами (на майданчику не очищаються).

Така схема зумовлена замкненим циклом роботи свиногокомплексу та відсутністю скиду очищених стоків у відкриті водні об'єкти.

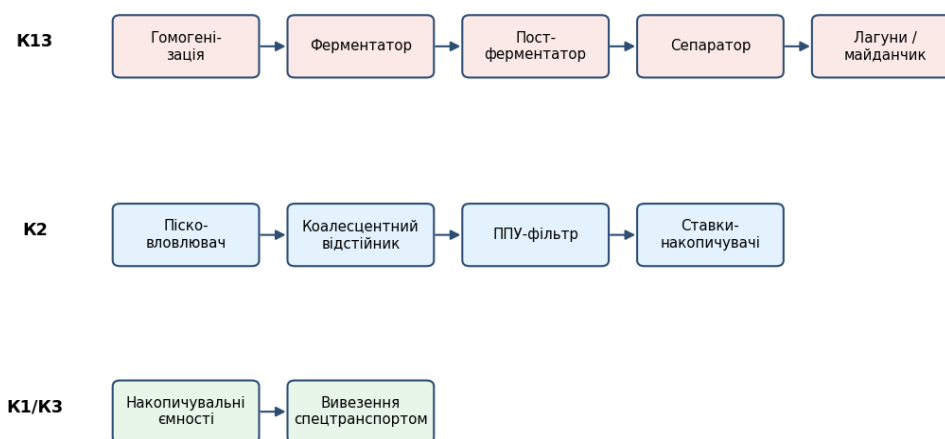


Рисунок 2.4 – Технологічна схема очищення стічних вод свиногокомплексу

Примітка. На рисунку 2.4 умовно показано: а) для K13 – ємність гомогенізації → ферментатор → пост-ферментатор → сепаратор → лагуни; б) для K2 –

пісковловлювач → коалесцентний відстійник → ППУ-фільтр → накопичувальні ставки; в) для К1/К3 – накопичувальні ємності з подальшим вивезенням.

2.5.1 Обґрунтування технологічної схеми очищення

Вибір технологічної схеми очищення стічних вод для свиногомплексу виконано на підставі ДБН В.2.5-75:2013 [2], ВНТП-АПК-02.05 [4] та ВНТП-АПК-09.06 [5] з урахуванням специфіки об'єкта.

Класифікація методів очищення стічних вод.

За фізичною сутністю процесів методи очищення стічних вод поділяють на механічні, фізико-хімічні, біологічні та методи знезараження. Механічне очищення передбачає виділення нерозчинених домішок проціджуванням, відстоюванням, фільтруванням і центрифугуванням; воно є, як правило, попередньою стадією, що захищає подальші споруди й обладнання. Фізико-хімічні методи (коагуляція, флотація, сорбція) застосовують для видалення тонкодисперсних та розчинених забруднень. Біологічне очищення ґрунтується на здатності мікроорганізмів використовувати органічні забруднення як джерело живлення; залежно від наявності кисню розрізняють аеробні та анаеробні процеси [9].

Для висококонцентрованих органічних стоків, до яких належить гній свиногомплексу, найдоцільнішим є анаеробне біологічне очищення, оскільки воно дає змогу не лише стабілізувати органіку, а й отримати енергетично цінний біогаз і органічні добрива. Для малозабруднених поверхневих (дощових) стоків достатньо механіко-сорбційного очищення. Знезараження як завершальна стадія застосовується тоді, коли очищені води скидаються у водні об'єкти або використовуються в умовах, що вимагають епідеміологічної безпеки [10]. Саме за цими критеріями й сформовано триланкову схему очищення стоків комплексу.

Обрана схема має низку переваг. По-перше, вона забезпечує енергетичну віддачу: біогаз, отриманий зі зброджування гною, покриває власні потреби комплексу в тепловій та частково електричній енергії. По-друге, замкненість циклу та повернення поживних речовин у ґрунт у вигляді органічних добрив відповідають принципам ресурсозбереження й циркулярної економіки. По-третє, уловлення метану, який інакше потрапляв би в атмосферу, та відсутність скиду у водойми

знижують негативний вплив підприємства на довкілля. Сукупно це робить прийнятну схему технічно раціональною та екологічно обґрунтованою.

Вихідні умови проєктування:

- комплекс працює за замкненою схемою без скиду очищених стоків у відкриті водні об'єкти;
- система каналізації – роздільна (K1, K3, K13, K2);
- гнойові стоки становлять основну частку забруднень (≈ 125 м³/доб, вологість 90–95 %), характеризуються високим вмістом органічних речовин, азоту, фосфору та патогенної мікрофлори;
- дощові стоки забруднені переважно завислими речовинами та нафтопродуктами.

Обґрунтування вибору методів очищення.

Свинячий гній є висококонцентрованим органічним субстратом: він містить значну кількість легкорозкладної органічної речовини, сполук азоту (переважно у формі амонійного азоту), фосфору й калію, а також патогенну мікрофлору та яйця гельмінтів. Висока вологість і вміст біогенних елементів роблять його, з одного боку, потенційно небезпечним забруднювачем ґрунтів та водойм за неконтрольованого скиду, а з іншого — цінною сировиною для виробництва біогазу й органічних добрив. Саме ця подвійна природа субстрату визначає доцільність його анаеробної переробки.

Для гнойових стоків (K13) обрано метод анаеробного зброджування (метанове бродіння) у ферментаторі (метантенку). Цей метод забезпечує:

- стабілізацію органічної речовини (розпад органіки на 40–60 %);
- отримання біогазу (метану) як відновлюваного джерела енергії;
- знезараження та дегельмінтизацію субстрату;
- отримання високоякісних органічних добрив (тверда та рідка фракції) [5].

Для дощових стоків (K2) обрано локальну очисну споруду механіко-сорбційного типу «RAINPARK», яка забезпечує ефективне видалення завислих речовин (до 95–98 %) та нафтопродуктів (до 99 %). Двоступенева схема

(пісковловлювач + коалесцентний відстійник + сорбційний фільтр) є оптимальною для поверхневих стоків з сільбищних територій та промислових майданчиків [2].

Для побутових (K1) та виробничих (K3) стоків через їх незначний об'єм ($\approx 25,5$ м³/доб та 0,34 м³/доб) та замкнений цикл роботи комплексу прийнято рішення про накопичення з подальшим вивезенням.

Розглянуті категорії стоків суттєво різняться за об'ємом та ступенем забрудненості, що й визначає різні підходи до їх очищення. Найбільший внесок у забруднення дає гній (K13) — як за об'ємом, так і за вмістом органіки та біогенних елементів, тому саме на його переробці зосереджено основні очисні споруди. Дощові стоки (K2) мають великий разовий об'єм, але порівняно низьку й специфічну забрудненість (завислі речовини, нафтопродукти), що дозволяє обмежитися механіко-сорбційним очищенням. Побутові та виробничі стоки незначні за об'ємом, тому їх економічно недоцільно очищати на місці. Такий диференційований підхід забезпечує раціональне використання коштів і максимальну ефективність кожної ланки.

2.5.2 Розрахунок споруд механічного очищення

Механічне очищення на свинокомплексі передбачено для двох категорій стоків:

- сепарація гною (поділ на тверду та рідку фракції після анаеробної обробки);
- очищення дощових стоків (пісковловлювач, коалесцентний відстійник, фільтр).

Механічне очищення є першою сходинкою в обох технологічних ланках. Його завдання — виділити з потоку грубодисперсні та осідаючі домішки, які могли б порушити роботу подальших споруд: спричинити абразивне зношування й засмічення насосів, замулення трубопроводів та реакторів, перевантаження сорбційних фільтрів. Завдяки попередньому механічному очищенню підвищується надійність і подовжується міжремонтний термін роботи всього комплексу очисних споруд.

2.5.2.1 Розрахунок сепаратора гною

Після виходу з пост-ферментатора зброджений субстрат (дигестат) надходить на сепарацію. Вихідні параметри субстрату:

- добовий об'єм $Q_{\text{доб}} = 125 \text{ м}^3/\text{доб}$;
- вологість сирого гною $W_{\text{сир}} = 94 \%$ (вміст сухої речовини 6 %) [5];
- вологість після анаеробної обробки практично не змінюється.

Будова та принцип дії сепаратора.

У проєкті застосовано шнековий (гвинтовий) прес-сепаратор. Його робочим органом є шнек, що обертається всередині циліндричного сита (перфорованого барабана). Рідкий субстрат подається насосом усередину сита; шнек поступово переміщує масу до вихідного отвору, водночас стискаючи її. Під дією тиску рідка фаза продавлюється крізь отвори сита й відводиться, а на торці утворюється ущільнена пробка з твердих часток, яка формує тверду фракцію [14].

Сито виготовляється з нержавіючої сталі; розмір його отворів зазвичай становить від 0,3 до 2 мм і добирається залежно від характеристик субстрату. Такі апарати ефективно зневоднюють матеріал із вихідною вологістю понад 90 %, знижуючи вологість твердої фракції до 60–80 % [14]. Перевагами шнекових сепараторів є простота конструкції, низьке енергоспоживання, безперервність роботи та невибагливість до обслуговування, що зумовило їх широке застосування в системах поводження з гноем і на біогазових станціях.

Сепарація має важливе технологічне значення: поділ субстрату на фракції полегшує транспортування, зберігання та подальше використання продуктів. Тверда фракція зі зниженою вологістю зручна для штабелювання, компостування й внесення в ґрунт як органічного добрива, а зменшення її об'єму знижує витрати на перевезення. Рідка фракція, звільнена від грубих часток, краще піддається перекачуванню, рівномірному розподілу під час зрошення та зберігання в лагунах без замулення.

Ефективність поділу залежить від розміру отворів сита, частоти обертання та геометрії шнека, створюваного тиску, а також від вихідної вологості й складу субстрату. Зменшення отворів сита підвищує сухість твердої фракції, але знижує

продуктивність; за потреби глибшого поділу застосовують флокулянти, які укрупнюють дрібні частки. Правильний добір цих параметрів дозволяє досягти балансу між сухістю твердої фракції та продуктивністю апарата.

Продуктивність сепаратора:

$$Q_{\text{sep}} = Q_{\text{доб}} \times k_{\text{нер}} = 125 \times 1,2 = 150 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.13)$$

де $k_{\text{нер}}$ – коефіцієнт нерівномірності (приймаємо 1,2).

Баланс сухої речовини.

Загальна кількість сухої речовини, що надходить у сепаратор за добу:

$$m_{\text{сух}} = Q_{\text{доб}} \times \rho \times (1 - W_{\text{сир}}) = 125 \times 1000 \times 0,06 = 7500 \text{ кг/доб} \quad (2.14)$$

де $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина субстрату.

Кількість твердої фракції (вологість $W_{\text{тв}} = 75 \%$, вміст сухої речовини 25 %):

$$Q_{\text{тв}} = m_{\text{сух}} / ((1 - W_{\text{тв}}) \times \rho) = 7500 / (0,25 \times 1000) = 30 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.15)$$

Кількість рідкої фракції (вологість $W_{\text{р}} = 98 \%$, вміст сухої речовини 2 %):

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{доб}} - Q_{\text{тв}} = 125 - 30 = 95 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.16)$$

Таблиця 2.18 – Параметри сепаратора гною

Параметр	Значення
Продуктивність (розрахункова)	150 м ³ /доб
Продуктивність (секундна)	~1,74 л/с
Кількість твердої фракції (75 % вологість)	30 м ³ /доб
Кількість рідкої фракції (98 % вологість)	95 м ³ /доб
Ефективність затримання сухої речовини	85–90 %

2.5.2.2 Розрахунок споруд механічного очищення дощових стоків (ЛОС «RAINPARK»)

Локальна очисна споруда дощових стоків продуктивністю 60 л/с ($\approx 216 \text{ м}^3/\text{год}$) включає три основні елементи: пісковловлювач, коалесцентний відстійник та сорбційний фільтр з пінополіуретану (ППУ).

Принцип роботи споруд механічного очищення.

Пісковловлювач призначений для виділення важких мінеральних домішок (піску, часток ґрунту), які за відсутності попереднього вловлювання спричиняли б абразивне зношування насосів та замулення подальших споруд. Розділення ґрунтується на різниці густин: під дією сили тяжіння важкі мінеральні частки

осідають на дно відповідно до закону Стокса, тоді як легші органічні домішки залишаються у завислому стані й виносяться потоком далі [10].

Коалесцентний (тонкошаровий) відстійник застосовують для затримання нафтопродуктів і тонкодисперсних завислих речовин. Усередині нього розміщено пакет похилих гофрованих пластин (зазвичай під кутом $45\text{--}60^\circ$), які різко скорочують шлях спливання краплі нафтопродукту до поверхні розділу фаз. Дрібні краплі, рухаючись у ламінарному режимі між пластинами, стикаються з їх гідрофобною поверхнею, прилипають і зливаються (коалесціюють) у більші краплі, що спливають угору, а завислі частки осідають донизу [13]. Завдяки збільшенню ефективної площі осадження продуктивність такого відстійника у два-три рази перевищує продуктивність гравітаційного відстійника тих самих габаритів.

Фінішне доочищення здійснюється на сорбційному фільтрі з відкритопористого ретикульованого пінополіуретану, який затримує залишкові емульговані нафтопродукти й дрібнодисперсні завислі речовини. У міру насичення матеріал фільтра регенерується або замінюється.

За конструкцією та характером руху води розрізняють горизонтальні пісковловлювачі (з прямолінійним або коловим рухом потоку), тангенціальні та аеровані. У горизонтальних пісок осідає під час поступального руху води з нормованою швидкістю; у тангенціальних потік подається по дотичній, унаслідок чого виникає обертальний рух, який сприяє відмиванню органіки з мінеральних часток; в аерованих перемішування повітрям підтримує органічні домішки у завислому стані, забезпечуючи виділення переважно чистого піску. Тип пісковловлювача добирають залежно від витрати та вимог до якості вловленого осаду.

Розрахунок пісковловлювача.

Для виділення грубодисперсних домішок (піску, ґрунту) передбачено тангенціальний (або аерований) пісковловлювач. Розрахунок виконується за гідравлічною крупністю піску ($u_0 = 18,7\text{--}24,2$ мм/с для частинок діаметром $0,2\text{--}0,25$ мм).

Площа живого перерізу пісковловлювача:

$$F = q_{\max} / u_0 = 0,06 / 0,02 = 3,0 \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

де $q_{\max}$ – максимальна витрата дощових стоків, $\text{м}^3/\text{с}$; u_0 – гідравлічна крупність піску, $\text{м}/\text{с}$ (приймаємо $0,02 \text{ м}/\text{с}$).

Довжина пісковловлювача:

$$L = K \times H \times v / u_0 = 2,5 \times 1,0 \times 0,2 / 0,02 = 25 \text{ м} \quad (2.18)$$

де $K = 2,5$ – коефіцієнт (для горизонтальних пісковловлювачів); $H = 1,0 \text{ м}$ – глибина проточної частини; $v = 0,2 \text{ м}/\text{с}$ – швидкість руху стічних вод.

Розрахунок коалесцентного відстійника.

Для затримання нафтопродуктів та тонкодисперсних завислих речовин застосовується відстійник з коалесцентними блоками (гофрованими пластинами з гідрофобними властивостями). Ефективність затримання нафтопродуктів досягає 95 %, завислих речовин – до 70 %.

Поверхнєве навантаження на відстійник приймається $q_0 = 6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ [2].

Потрібна площа відстійника:

$$F_{\text{від}} = Q_{\text{год}} / q_0 = 216 / 6 = 36 \text{ м}^2 \quad (2.19)$$

Час перебування води у відстійнику:

$$t = H \times F_{\text{від}} / Q_{\text{год}} = 1,5 \times 36 / 216 = 0,25 \text{ год} = 15 \text{ хв} \quad (2.20)$$

де $H = 1,5 \text{ м}$ – глибина відстійної частини.

Розрахунок сорбційного фільтра.

Фінішне очищення виконується на фільтрі з пінополіуретану (відкритопористий ретикульований матеріал). Фільтр забезпечує видалення залишкових завислих речовин (до $\leq 15 \text{ мг}/\text{л}$) та нафтопродуктів (до $\leq 0,3 \text{ мг}/\text{л}$). Гідравлічне навантаження на фільтр приймається $q_{\text{ф}} = 6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ [2]. Потрібна площа фільтрації:

$$F_{\text{ф}} = Q_{\text{год}} / q_{\text{ф}} = 216 / 6 = 36 \text{ м}^2 \quad (2.21)$$

Висока ефективність ЛОС «RAINPARK» (видалення завислих речовин до 95–98 % та нафтопродуктів до 99 %) досягається лише за умови регулярного експлуатаційного обслуговування: своєчасного видалення накопиченого піску й осаду, очищення коалесцентних блоків та заміни сорбційного матеріалу фільтра. Оскільки інтенсивність дощового стоку є нерівномірною, перед очисними

спорудами доцільно передбачати акумулюючу (регулюючу) ємність, яка згладжує пікові витрати зливи й забезпечує рівномірне завантаження споруд у межах їх розрахункової продуктивності.

Очищена на ЛОС дощова вода за показниками якості (завислі речовини ≤ 15 мг/л, нафтопродукти $\leq 0,3$ мг/л) придатна для повторного використання, зокрема для зрошення сільськогосподарських угідь. Це узгоджується з концепцією замкненого циклу комплексу: замість скиду у водойму поверхневий стік повертається в господарський обіг, що зменшує водоспоживання та виключає негативний вплив на водні об'єкти. Накопичення очищеної води у ставках-накопичувачах дозволяє акумулювати її в дощові періоди та витратити в посушливі, узгоджуючи режим надходження з потребами поливу.

Таблиця 2.19 – Параметри споруд механічного очищення дощових стоків

Споруда	Параметр	Значення
Пісковловлювач	Продуктивність, л/с	60
Пісковловлювач	Площа живого перерізу, м ²	3,0
Пісковловлювач	Довжина, м	25
Коалесцентний відстійник	Продуктивність, м ³ /год	216
Коалесцентний відстійник	Площа, м ²	36
Коалесцентний відстійник	Час відстоювання, хв	15
ППУ-фільтр	Продуктивність, м ³ /год	216
ППУ-фільтр	Площа фільтрації, м ²	36
Загалом	Завислі речовини на виході, мг/л	≤ 15
Загалом	Нафтопродукти на виході, мг/л	$\leq 0,3$

2.5.3 Розрахунок споруд біологічного очищення

Біологічне очищення на свинокомплексі передбачено виключно для гнойових стоків (система K13) методом анаеробного зброджування (метанове бродіння). Біологічне очищення дощових або побутових стоків на майданчику не передбачене.

До складу споруд анаеробної обробки входять (рисунки 2.5):

- ємність для змішування гною з силосом (гомогенізація);
- ферментатор (основний реактор-метантенк) – гідравлічний час перебування 25 діб;

- пост-ферментатор (доброджувач) – час перебування 10 діб;
- сепаратор (поділ на тверду та рідку фракції);
- лагуни-накопичувачі рідкої фракції (2 шт. по 14 500 м³);
- майданчик зберігання твердої фракції;
- когенераційні установки (2 шт., електрична потужність 660 кВт, тепла 826 кВт).

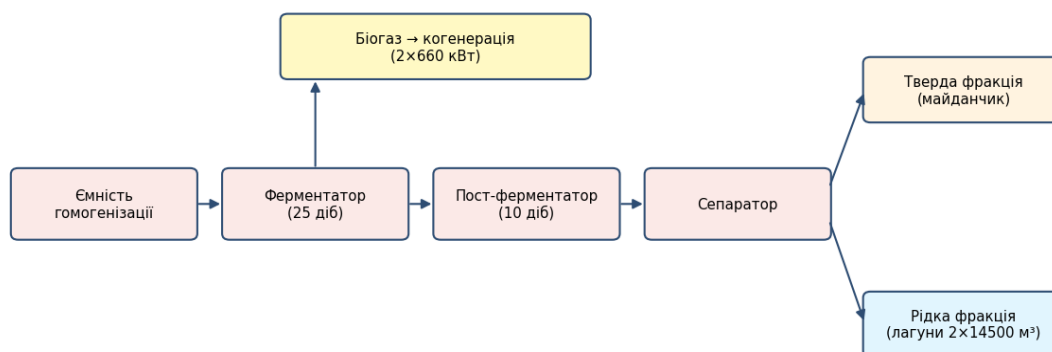


Рисунок 2.5 – Технологічна схема анаеробної обробки гнойових стоків

Сутність процесу анаеробного зброджування.

Анаеробне зброджування — це біологічний процес розкладання органічних речовин мікроорганізмами за відсутності кисню з утворенням біогазу. Процес перебігає у чотири послідовні, але паралельно діючі стадії [11]:

- гідроліз — складні органічні полімери (вуглеводи, білки, жири) під дією гідролітичних бактерій розпадаються на прості розчинні сполуки (цукри, амінокислоти, жирні кислоти);
- ацидогенез — кислотоутворюючі бактерії перетворюють продукти гідролізу на леткі жирні кислоти, спирти, водень, діоксид вуглецю та аміак;
- ацетогенез — ацетогенні бактерії перетворюють леткі жирні кислоти на оцтову кислоту, водень і діоксид вуглецю;

- метаногенез — метаноутворюючі археї перетворюють оцтову кислоту, водень та діоксид вуглецю на метан — основний горючий компонент біогазу [11].

Ефективність зброджування визначається сукупністю технологічних параметрів: температурою, активною реакцією середовища (pH), співвідношенням вуглецю до азоту (C/N), гідравлічним часом перебування (HRT) та об'ємним навантаженням за органічною речовиною (OLR) [11]. За температурним режимом розрізняють психрофільне (нижче 20 °C), мезофільне (близько 30–40 °C) та термофільне (близько 50–57 °C) зброджування; для сільськогосподарських біогазових установок найпоширенішим є мезофільний режим як компроміс між швидкістю процесу, його стабільністю та енерговитратами на підігрів субстрату.

Отриманий біогаз складається переважно з метану (50–75 %) та діоксиду вуглецю (25–45 %) з домішками сірководню, аміаку й водяної пари [11]. Енергетичну цінність біогазу визначає вміст метану; сірководень та аміак є небажаними компонентами, оскільки спричиняють корозію обладнання, тому перед спалюванням біогаз за потреби піддають очищенню (десульфуризації та осушенню).

Вихід біогазу залежить від складу субстрату (вмісту та виду органічної речовини), температурного режиму, тривалості зброджування й рівномірності завантаження реактора. Збільшення часу перебування та підтримання сталої температури підвищують ступінь розкладання органіки й питомий вихід газу, тоді як різкі коливання навантаження або температури пригнічують активність метаногенів і знижують газоутворення.

Перевагою анаеробного очищення порівняно з аеробним для таких висококонцентрованих стоків є відсутність потреби в енергоємній аерації, менший приріст надлишкового мулу та, головне, отримання енергоносія — біогазу. Аеробні методи (аеротенки, біофільтри) для гною свиногокомплексу були б економічно недоцільними через величезні витрати енергії на насичення киснем і великий обсяг утворюваного мулу.

Будова ферментатора та допоміжного обладнання.

Ферментатор (метантенк) є герметичним теплоізованим резервуаром, у якому підтримується стабільний температурний режим зброджування. Для рівномірності процесу та запобігання утворенню поверхневої кірки й осаду передбачається система перемішування субстрату (механічні мішалки, гідравлічна або пневматична рециркуляція), а для підтримання робочої температури — система підігріву, що зазвичай використовує теплоту, утилізовану від когенераційної установки. У верхній частині реактора влаштовують газовий купол (газгольдер) для збирання та тимчасового зберігання біогазу перед його подаванням на енергетичне обладнання.

Перед подаванням у ферментатор гній надходить до ємності гомогенізації (підготовки субстрату), де його перемішують, за потреби доводять до потрібної вологості та змішують з додатковими субстратами (наприклад, силосом) для оптимізації співвідношення вуглецю до азоту. Гомогенізація забезпечує однорідність маси, що подається в реактор, стабілізує його роботу та запобігає різким коливанням навантаження. З цієї ємності підготовлений субстрат рівномірно дозовано перекачується у ферментатор.

Контроль і стабільність процесу зброджування.

Стабільність анаеробного процесу забезпечується підтриманням сприятливих умов для метаноутворюючих мікроорганізмів, які є найчутливішими у мікробному угрупованні. Оптимальне значення рН середовища становить приблизно 6,8–7,5; зниження рН свідчить про накопичення летких жирних кислот унаслідок випередження кислотоутворення над метаноутворенням. Для раннього виявлення розбалансування контролюють концентрацію летких жирних кислот, лужність (буферну ємність), температуру та склад біогазу [11]. Важливим є також співвідношення вуглецю до азоту в субстраті: за надлишку азоту можливе інгібування процесу аміаком, тому за потреби гній змішують з вуглецевмісними субстратами (наприклад, силосом).

Порівняно з мезофільним, термофільний режим (близько 50–57 °С) забезпечує вищу швидкість розкладання та повніше знезараження субстрату, проте

потребує більших витрат теплоти на підігрів і є чутливішим до коливань температури й складу завантаження. Саме тому для сільськогосподарських біогазових установок, до яких належить і розглянута, зазвичай обирають стабільніший і економічніший мезофільний режим.

Очищення біогазу.

Перед використанням в енергетичному обладнанні біогаз піддають підготовці: осушенню (видаленню вологи) та десульфуризації (видаленню сірководню), що запобігає корозії та подовжує ресурс газових двигунів. Видалення сірководню здійснюють біологічними або хімічними методами; за потреби біогаз додатково очищують від механічних домішок. Підготовлений біогаз із стабільним вмістом метану забезпечує надійну роботу когенераційних установок.

Призначення пост-ферментатора.

Біогаз є горючим газом, тому система його збирання, зберігання та подавання обладнується засобами вибухопожежної безпеки: гідрозатворами, запобіжними клапанами, газоаналізаторами та факельною установкою для аварійного спалювання надлишку газу. Приміщення й споруди біогазового комплексу проєктуються з урахуванням відповідної категорії вибухопожежної небезпеки, що забезпечує безпечну експлуатацію станції.

Після основного ферментатора субстрат надходить у пост-ферментатор (доброджувач), де процес метаногенезу завершується за рахунок додаткового часу перебування (близько 10 діб). Це дозволяє повніше використати залишковий потенціал газоутворення, підвищити загальний вихід біогазу та глибину стабілізації органічної речовини, а також додатково знезаразити субстрат. Пост-ферментатор водночас виконує роль проміжної ємності-усереднювача перед сепарацією, згладжуючи нерівномірність надходження маси.

Розрахунок робочого об'єму ферментатора.

Гідравлічний час перебування субстрату в ферментаторі при мезофільному режимі (температура 35–38 °C) приймаємо $HRT = 25$ діб [5]. Робочий об'єм ферментатора:

$$V_{\text{ф}} = Q_{\text{доб}} \times HRT = 125 \times 25 = 3125 \text{ м}^3 \quad (2.22)$$

За наявними проектними даними, фактичний об'єм ферментатора становить близько 3000–3500 м³.

Розрахунок об'ємного навантаження за органічною речовиною.

Концентрація органічних речовин у субстраті (за ХСК або БСК) приймається $S_0 = 40\,000$ мг О₂/л (для свіжого гною свиней) [5]. Органічне навантаження на ферментатор:

$$OLR = Q_{\text{доб}} \times S_0 / V_{\text{ф}} = 125 \times 40 / 3125 = 1,6 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{доб}) \quad (2.23)$$

Значення $OLR = 1,6 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$ знаходиться в межах рекомендованих значень для анаеробних реакторів (0,5–3,0 кг/(м³·доб)) [5].

Гідравлічний час перебування та об'ємне навантаження за органічною речовиною є взаємопов'язаними ключовими параметрами реактора. Надмірне навантаження або занадто короткий час перебування призводять до неповного розкладання органіки, накопичення летких жирних кислот та зниження виходу метану; навпаки, надто тривале перебування потребує більшого об'єму реактора й підвищує капітальні витрати. Прийняті в проєкті значення $HRT = 25$ діб та $OLR = 1,6 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$ забезпечують стабільний перебіг метаногенезу за оптимального співвідношення між глибиною переробки та розмірами споруд.

Розрахунок виходу біогазу.

Питомий вихід біогазу з гною свиней становить $b_{\text{пит}} = 40\text{--}60$ м³ на 1 тону сирого гною [5]. Приймаємо $b_{\text{пит}} = 50$ м³/т. Добовий вихід біогазу:

$$V_{\text{доб}} = Q_{\text{доб}} \times \rho \times b_{\text{пит}} = 125 \times 1,0 \times 50 = 6250 \text{ м}^3/\text{доб} \quad (2.24)$$

Річний вихід біогазу:

$$V_{\text{рік}} = V_{\text{доб}} \times 365 = 6250 \times 365 = 2\,281\,250 \text{ м}^3/\text{рік} \approx 2,28 \text{ млн м}^3/\text{рік} \quad (2.25)$$

Розрахунок потужності когенераційних установок.

Теплотворна здатність біогазу (вміст метану 60–70 %) приймається $Q_{\text{биог}} = 21\,000$ кДж/м³ $\approx 5,83$ кВт·год/м³. Загальна теплова енергія, що отримується з біогазу:

$$E_{\text{тепл}} = V_{\text{год}} \times Q_{\text{биог}} = 260 \times 21 = 5460 \text{ МДж}/\text{год} \approx 1517 \text{ кВт} \quad (2.26)$$

де $V_{\text{год}} = 6250 / 24 \approx 260$ м³/год.

Згідно з проектними даними, встановлено дві когенераційні установки загальною електричною потужністю 1320 кВт (2×660 кВт) та тепловою потужністю 1652 кВт (2×826 кВт). Коефіцієнт корисної дії когенераційних установок становить $\eta_{\text{ел}} \approx 40\text{--}45\%$, $\eta_{\text{теп}} \approx 45\text{--}50\%$.

Утилізація біогазу в когенераційній установці.

Очищений біогаз спрямовується в когенераційну установку (систему комбінованого виробництва електричної і теплової енергії, CHP). Її основою є поршневий газовий двигун внутрішнього згоряння, з'єднаний з електрогенератором: енергія згоряння біогазу перетворюється на механічну роботу на валу двигуна, а та, своєю чергою, — на електричну енергію [12].

Теплота, що в традиційних електростанціях втрачається, у когенераційній установці корисно утилізується. Низькопотенційне тепло відбирають від системи охолодження двигуна (контур сорочки циліндрів та мастила) у вигляді гарячої води з параметрами близько 70/90 °С, а високопотенційне — з відхідних газів двигуна (температура близько 450 °С) через додатковий теплообмінник [12]. Електричний ККД сучасних біогазових двигунів становить близько 35–43 %, а сумарний коефіцієнт використання палива з урахуванням утилізації тепла сягає 80–90 % [12]. Утилізоване тепло насамперед спрямовується на підігрів субстрату у ферментаторі, що забезпечує енергетичну автономність біогазової станції.

Отримана електрична енергія використовується для власних потреб комплексу (привід насосів, мішалок, сепаратора, систем автоматики), а її надлишок може відпускатися в електромережу. Теплова енергія, окрім підігріву реактора, придатна для опалення виробничих та допоміжних будівель. Таким чином, енергетична утилізація біогазу не лише знижує експлуатаційні витрати підприємства, а й зменшує споживання викопного палива та відповідні викиди парникових газів.

Загалом анаеробна обробка гною на свинокомплексі вирішує одночасно кілька завдань: екологічне (знешкодження та стабілізація найбільш забрудненої категорії стоків, скорочення викидів метану й запахів), енергетичне (виробництво відновлюваного палива та власної електро- й теплоенергії) та агрономічне

(одержання якісних органічних добрив). Таке поєднання природоохоронного й ресурсного ефектів робить біогазову технологію економічно та екологічно доцільною основою системи поводження зі стоками тваринницького комплексу.

Таблиця 2.20 – Параметри споруд біологічного очищення (анаеробної обробки гною)

Параметр	Позначення	Значення	Джерело
Режим зброджування	–	Мезофільний (35–38 °C)	[5]
Гідравлічний час перебування в ферментаторі	HRT	25 діб	[5]
Гідравлічний час перебування в пост-ферментаторі	–	10 діб	[5]
Робочий об'єм ферментатора	V _ф	≈3125 м³	Розрахунок
Об'ємне навантаження за органікою	OLR	1,6 кг/(м³·доб)	Розрахунок
Добовий вихід біогазу	Вдоб	6250 м³/доб	Розрахунок
Річний вихід біогазу	Врік	2,28 млн м³/рік	Розрахунок
Електрична потужність когенерації	–	1320 кВт	Проектні дані
Теплова потужність когенерації	–	1652 кВт	Проектні дані

2.5.4 Розрахунок споруд знезараження

Замкнений цикл роботи свиногокомплексу та відсутність скиду очищених стоків у відкриті водні об'єкти визначають особливості знезараження стічних вод.

Загальна характеристика методів знезараження.

Знезараження стічних вод спрямоване на знищення патогенних мікроорганізмів та яєць гельмінтів. Найпоширенішими є хлорування, ультрафіолетове опромінення та озонування. Хлорування є простим і дешевим, проте утворює хлорорганічні сполуки й потребує контролю залишкового хлору. Ультрафіолетове знезараження не змінює хімічного складу води та не утворює побічних продуктів, але вимагає достатньої прозорості води й безперервного енергопостачання. Озонування забезпечує високий знезаражувальний і окиснювальний ефект, проте є найенерговитратнішим. Для рідких

сільськогосподарських відходів самостійне значення має біотермічне та біологічне знезараження — витримування за підвищеної температури в процесі зброджування та тривале карантування, під час якого патогенна мікрофлора відмирає природним шляхом.

Гнойові стоки (К13). У процесі анаеробного зброджування в ферментаторі при мезофільній температурі (35–38 °С) протягом 25 діб відбувається значне знезараження субстрату. За даними досліджень, при таких умовах гине більшість патогенних мікроорганізмів та гельмінтів [5]. Для підвищення ступеня знезараження додатково застосовується:

- витримка рідкої фракції в лагунах-накопичувачах протягом 1–2 сезонів (до 180 діб), що забезпечує додаткову санітарну обробку за рахунок сонячної інсоляції та біохімічних процесів;
- термічний спосіб знезараження в ферментаторі (за потреби – нагрівання до 55–70 °С на стадії термофільного режиму).

Отримані після сепарації та витримки в лагунах рідка та тверда фракції використовуються як органічні добрива за умови позитивної оцінки їх якості за показниками безпеки згідно з [5].

Тривале витримування рідкої фракції в лагунах-накопичувачах є додатковим природним способом її знезараження. Протягом кількох місяців під дією біохімічних процесів, сонячної інсоляції та сезонних коливань температури життєздатність патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів поступово знижується. Поєднання анаеробного зброджування з наступним тривалим витримуванням забезпечує комплексний санітарний ефект без застосування реагентного знезараження, що відповідає вимогам поводження з продуктами тваринництва.

Ефективність знезараження контролюється за результатами лабораторних досліджень фракцій перед їх використанням. Періодичний санітарно-бактеріологічний та гельмінтологічний контроль дозволяє підтвердити досягнення нормативних показників безпеки й своєчасно скоригувати тривалість витримування за потреби. Такий контроль є обов'язковою складовою експлуатації

системи поводження з гноєм і гарантує, що добрива, які вносяться на поля, не становлять епідеміологічної небезпеки для людей і тварин.

Дощові стоки (K2). Знезараження дощових стоків після ЛОС «RAINPARK» додатково не передбачено, оскільки:

- очищені стоки не скидаються у водойми, а накопичуються в ставках-накопичувачах (поз. 33.1, 33.3);
- вода за якістю відповідає придатній для зрошення сільськогосподарських угідь (згідно з таблицею 8 ДСТУ 7591:2014) і може бути використана для зрошення за договором.

Побутові (K1) та виробничі (K3) стоки. Знезараження на майданчику не передбачено. Стоки накопичуються в герметичних ємностях (K1 – 40 м³, K3 – 15 м³) і вивозяться спеціалізованими підприємствами на станції знезараження рідких побутових відходів.

Придатність зброджених фракцій для використання як добрив підтверджується за санітарно-показниковими критеріями: відсутністю життєздатних яєць гельмінтів, нормованим вмістом індикаторних мікроорганізмів та допустимими концентраціями важких металів. Лише за позитивної оцінки за цими показниками тверда та рідка фракції допускаються до внесення на сільськогосподарські угіддя [5], що гарантує епідеміологічну та екологічну безпеку утилізації.

Таблиця 2.21 – Методи знезараження за категоріями стоків

Категорія стоків	Метод знезараження	Параметри/тривалість
K13 (рідка фракція)	Анаеробне зброджування + витримка в лагунах	25 діб + 180 діб
K13 (тверда фракція)	Карантування на майданчику	6 місяців [5]
K2	Не передбачено (використання на зрошення)	—
K1, K3	Вивезення на станції знезараження	—

2.5.5 Розрахунок споруд обробки осаду

Побічними продуктами очищення стічних вод на свиномкомплексі є тверда фракція гною (після сепаратора) та рідка фракція, яка накопичується в лагунах.

Обробка та утилізація осаду й побічних продуктів є невід'ємною частиною технологічної схеми, від якої залежить екологічна безпека та економічна ефективність комплексу. Рациональне поводження з фракціями дозволяє перетворити відходи виробництва на товарну продукцію — органічні добрива, водночас уникнувши накопичення необроблених відходів та забруднення довкілля. Нижче наведено розрахунок обсягів твердої та рідкої фракцій і визначення параметрів споруд їх зберігання.

2.5.5.1 Тверда фракція

Добовий об'єм твердої фракції після сепаратора (вологість 75 %) становить $\approx 30 \text{ м}^3/\text{доб}$ (згідно з п. 2.5.2.1). Річний об'єм твердої фракції:

$$Q_{\text{ТВ,рік}} = Q_{\text{ТВ}} \times 365 = 30 \times 365 = 10\,950 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.27)$$

Тверда фракція після анаеробної обробки карантується на спеціально обладнаному майданчику протягом 6 місяців (згідно з [5]), після чого використовується як органічне добриво в сільському господарстві. Потрібна площа майданчика зберігання твердої фракції при висоті шару $h = 2 \text{ м}$:

$$F_{\text{ТВ}} = (Q_{\text{ТВ,рік}} / 2) / h = 5475 / 2 = 2738 \text{ м}^2 \approx 0,27 \text{ га} \quad (2.28)$$

Майданчик зберігання твердої фракції влаштовують з водонепроникним покриттям та системою збору фільтрату, що запобігає забрудненню ґрунту й поверхневих вод. Під час витримування (карантування) у штабелях відбуваються процеси, подібні до компостування: за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів матеріал додатково знезаражується, втрачає неприємний запах і набуває стабільної структури, придатної для тривалого зберігання та зручної для внесення в ґрунт. Готова тверда фракція є органічним добривом пролонгованої дії, що поліпшує структуру та родючість ґрунтів.

Агрономічна цінність твердої фракції зумовлена високим вмістом органічної речовини та поживних елементів — насамперед фосфору й частини азоту, зв'язаних в органічній формі. Унесення такого добрива поповнює запас гумусу, поліпшує

водно-повітряний режим і структуру ґрунту, підвищує його біологічну активність. На відміну від мінеральних добрив, органіка діє поступово, забезпечуючи рослини елементами живлення впродовж тривалого періоду та знижуючи ризик вимивання нітратів у підземні води.

2.5.5.2 Рідка фракція

Добовий об'єм рідкої фракції після сепаратора (вологість 98 %) становить ≈ 95 м³/доб (згідно з п. 2.5.2.1). Річний об'єм рідкої фракції:

$$Q_{p, \text{рік}} = 95 \times 365 = 34\,675 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (2.29)$$

Для накопичення рідкої фракції проектом передбачено дві лагуни об'ємом 14 500 м³ кожна. Загальний об'єм лагун:

$$V_{\text{лаг, заг}} = 2 \times 14500 = 29\,000 \text{ м}^3 \quad (2.30)$$

Час заповнення лагун (без урахування використання рідкої фракції на добрива):

$$t_{\text{зап}} = V_{\text{лаг, заг}} / Q_{p, \text{доб}} = 29000 / 95 \approx 305 \text{ діб} \quad (2.31)$$

На практиці рідка фракція використовується для зрошення сільськогосподарських угідь у весняний та осінній періоди, що забезпечує її регулярне спорожнення.

Використання продуктів обробки осаду.

Зброджена маса (дигестат) після сепарації є цінним органічним добривом. Тверда фракція використовується як ґрунтополіпшувач і джерело органічної речовини, а рідка — як рідке азотно-калійне добриво для зрошення сільськогосподарських угідь. На відміну від свіжого гною, зброджений субстрат відзначається зниженим вмістом патогенів та насіння бур'янів, меншим неприємним запахом і кращими для засвоєння рослинами формами поживних речовин [5]. Внесення фракцій здійснюється за агрономічними нормами з урахуванням потреби сільськогосподарських культур у поживних елементах та фактичного вмісту азоту, фосфору й калію в дигестаті.

Місткість лагун добирається з урахуванням сезонності внесення добрив: оскільки рідку фракцію вносять на поля переважно у весняний та осінній періоди, накопичувачі мають вміщувати її надходження за період між внесеннями (кілька

місяців). Розрахований час заповнення лагун узгоджується з цими агротехнічними строками, що виключає переповнення накопичувачів і забезпечує безперервну роботу комплексу впродовж року.

Таблиця 2.22 – Параметри споруд обробки осаду/побічних продуктів

Параметр	Значення	Джерело
Об'єм твердої фракції (добовий)	30 м ³ /доб	Розрахунок
Об'єм твердої фракції (річний)	10 950 м ³ /рік	Розрахунок
Термін карантування твердої фракції	6 місяців	[5]
Площа майданчика зберігання твердої фракції	≈0,27 га	Розрахунок
Об'єм рідкої фракції (добовий)	95 м ³ /доб	Розрахунок
Об'єм рідкої фракції (річний)	34 675 м ³ /рік	Розрахунок
Кількість лагун	2 шт.	Проектні дані
Об'єм однієї лагуни	14 500 м ³	Проектні дані
Загальний об'єм лагун	29 000 м ³	Проектні дані
Розрахунковий час заповнення лагун	~305 діб	Розрахунок

Дно та укоси лагун вистилаються геомембраною товщиною 1,5 мм для запобігання фільтрації рідкої фракції в ґрунтові води. Для контролю витоків передбачено дренажну гофровану трубу Ø110 мм, прокладену під геомембраною, з установкою оглядових колодязів.

Така конструкція забезпечує екологічну безпеку зберігання рідкої фракції: суцільний гідроізоляційний екран унеможливорює інфільтрацію забруднень у водоносні горизонти, а підмембранний дренаж із оглядовими колодязями дає змогу своєчасно виявити порушення цілісності екрана за появою рідини в контрольних точках. Розташування та місткість лагун узгоджуються з обсягом надходження рідкої фракції та з агротехнічними строками її внесення на поля, що виключає переповнення накопичувачів і неконтрольований скид.

У сукупності прийняті очисні споруди забезпечують комплексне розв'язання природоохоронного завдання: знешкодження та стабілізацію забруднень, повернення поживних речовин у сільськогосподарський обіг та вироблення відновлюваної енергії з біогазу. Така організація очищення відповідає сучасним вимогам екологічно безпечного й ресурсоощадного виробництва.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.5

За результатами розрахунку споруд очищення стічних вод свиногокомплексу можна зробити наступні висновки:

1. **Технологічна схема очищення є триланковою:** анаеробна обробка гнойових стоків (K13), механіко-сорбційне очищення дощових стоків (K2), накопичення з вивезенням побутових (K1) та виробничих (K3) стоків. Така схема оптимальна для замкненого циклу роботи комплексу.
2. **Сепаратор гною** забезпечує поділ збродженого субстрату на тверду фракцію (30 м³/доб, вологість 75 %) та рідку фракцію (95 м³/доб, вологість 98 %), що є основою для отримання органічних добрив.
3. **ЛОС «RAINPARK»** продуктивністю 60 л/с забезпечує очищення дощових стоків до концентрацій: завислі речовини ≤ 15 мг/л, нафтопродукти $\leq 0,3$ мг/л, що дозволяє використовувати очищену воду для зрошення сільськогосподарських угідь.
4. **Анаеробний реактор (ферментатор)** розрахунковим об'ємом ≈ 3125 м³ при гідравлічному часі перебування 25 діб забезпечує стабілізацію органічної речовини та вихід біогазу $\approx 2,28$ млн м³/рік, який використовується в когенераційних установках (електрична потужність 1320 кВт, теплова 1652 кВт).
5. **Знезараження стоків** досягається комплексом заходів: анаеробне зброджування (25 діб), витримка в лагунах (до 180 діб) та карантування твердої фракції (6 місяців). Для дощових стоків знезараження не потрібне завдяки їх використанню на зрошення.
6. **Лагуни-накопичувачі** загальним об'ємом 29 000 м³ ($2 \times 14\,500$ м³) забезпечують надійне зберігання рідкої фракції (річний об'єм $\approx 34\,675$ м³) з гідроізоляцією геомембраною 1,5 мм.
7. **Усі отримані розрахункові параметри** відповідають вимогам ВНТП-АПК-09.06 [5] та ДБН В.2.5-75:2013 [2] і є підставою для подальшого детального проектування очисних споруд.

8.

3 СПЕЦІАЛІЗОВАНА ЧАСТИНА

3.1 Організація експлуатації системи водовідведення

Надійна та безперебійна робота системи каналізації гноєвидалення свиногокомплексу із закінченим виробничим циклом досягається лише за умови правильно організованої експлуатації. Її головне завдання полягає у підтриманні проєктних режимів роботи всіх ланок технологічного ланцюга — від збирання гнойових стоків у тваринницьких корпусах до накопичення збродженого субстрату в лагунах — за одночасного забезпечення вимог промислової санітарії, охорони праці, біологічної безпеки та охорони довкілля.

Особливістю об'єкта є те, що його створено шляхом реконструкції наявного майнового комплексу: частину будівель (свинарники-відгодівельники, свинарники для опоросів, поросних і холостих маток, ремонтного молодняку та кнурів, корпуси №1–8) реконструйовано, низку застарілих споруд — зокрема відкриті накопичувачі гною, що вже не використовувалися, — демонтовано, а вузли біотехнологічного оброблення збудовано заново. Така обставина вимагає, аби перед введенням в експлуатацію всі реконструйовані конструкції та повторно задіяні мережі пройшли ретельне технічне обстеження на предмет придатності, герметичності й відповідності проєктним навантаженням.

Технологічний ланцюг руху стоків, що його обслуговує персонал, охоплює послідовно: збирання гнойових стоків самопливними лотками й трубопроводами у тваринницьких корпусах; перекачування об'єднаною насосною станцією та насосною субстрату; попереднє оброблення у резервуарі змішування та гідролізу; розділення на фракції у сепараторі; видалення сполук сірки у десульфатизаторі; анаеробне зброджування у ферментаторі з накопиченням збродженого субстрату й фільтрату у двох лагунах місткістю по 14 500 м³ кожна. Кожна з цих ланок потребує власного режиму нагляду та обслуговування.

Безаварійність роботи самопливних колекторів забезпечується систематичним промиванням лотків і трубопроводів, очищенням від відкладень, контролем наповнення та усуненням застійних ділянок, де можливе загнивання стоків і виділення агресивних газів. Оглядові, поворотні й перепадні колодязі, камери, ділянки залізобетонних труб великого діаметра (у документації фігурують труби $d=1000$ мм) та напірні ділянки, обладнані фасонними частинами з кутами 45° і 87° , підлягають періодичному обстеженню. Для виконання ремонту окремих споруд без зупинення всього комплексу передбачається можливість їх відключення, спорожнення та обвідного руху потоку.

Насосне господарство — об'єднана насосна станція та насосна субстрату — належить до найвідповідальніших ланок. Під час експлуатації контролюють подачу й напір агрегатів, рівні у приймальних резервуарах, стан ущільнень і підшипників, не допускаючи роботи насосів у суху чи перевантаження. Передбачається наявність резервних агрегатів, що вмикаються в разі виходу з ладу робочих, чим забезпечується безперервність відведення стоків навіть за позаштатних ситуацій.

Серцем системи є вузол анаеробного зброджування. Ферментатор працює у відносно вузькому температурному діапазоні й потребує безперервного контролю температури, рівня завантаження, інтенсивності перемішування та виходу біогазу. Кількість утвореного газу, витрати стоків і осаду фіксуються вимірювальними засобами, що дає змогу оперативно коригувати процес. Утворений біогаз спрямовується через газодувку та компресорну до когенераційної установки, де перетворюється на теплову й електричну енергію; для уловлювання й відведення вологи на газопроводах встановлено установки збору та відкачування конденсату, які потребують регулярного спорожнення задля запобігання закупорюванню та корозії.

Окремої уваги під час експлуатації потребують допоміжні стічні потоки. Господарсько-побутові води санпропускника, операторної та інших приміщень відводяться до септика; виробничі стоки забійно-санітарного пункту (забійного й утилізаційного відділень) перед відведенням знешкоджуються на локальних очисних спорудах (ЛОС). Дезблок і санпропускник, що забезпечують ветеринарно-

санітарний (протиєпізоотичний) режим, також формують стоки, поводження з якими регламентується окремими інструкціями.

Енергетична надійність об'єкта підтримується власною дизельною електростанцією (ДЕС), яка слугує резервним джерелом живлення на випадок перебоїв у зовнішньому електропостачанні. Це особливо важливо для безперервної роботи насосних агрегатів, систем перемішування ферментатора та газового обладнання, зупинення яких є неприпустимим з технологічних і безпекових міркувань.

Автоматизація основних операцій — перекачування стоків, дозування, підтримання параметрів зброджування, відведення й утилізації газу — здійснюється з операторної, що виконує функції диспетчерського пункту. Автоматичне керування дозволяє знизити вплив людського чинника, зменшити чисельність персоналу та підвищити стабільність роботи. Для забезпечення вибухопожежної безпеки на спорудах, пов'язаних з утворенням і транспортуванням біогазу, обов'язково передбачаються контроль загазованості, аварійна вентиляція та факельний пристрій (труба факельного викиду) для безпечного спалювання надлишків газу; будівлі та високі споруди обладнано блискавкозахистом із струмоприймачами заввишки 9, 12 і 30 м.

Усі експлуатаційні дії виконуються згідно з технологічним регламентом, посадовими та протиаварійними інструкціями, інструкціями з охорони праці й чинними нормами експлуатації каналізаційних мереж і споруд. Ведеться оперативна та ремонтна документація, періодично відбираються проби для лабораторного контролю якості стоків і збродженого субстрату, а за результатами планово-запобіжних оглядів складаються графіки поточних і капітальних ремонтів. Такий комплексний підхід гарантує тривалу та безпечну роботу системи гноєвидалення.

3.2 Захист трубопроводів і споруд від корозії

Середовища, які транспортуються та обробляються в системі гноєвидалення, є агресивними: рідкий гній і продукти його анаеробного розкладання містять сполуки, здатні руйнувати як металеві, так і бетонні поверхні. Тому захист

трубопроводів, ємнісних і допоміжних споруд від корозії розглядається як одна з визначальних умов забезпечення проєктного строку їх служби та безаварійної експлуатації комплексу.

Корозійну небезпеку в системі формують одразу кілька чинників. По-перше, сама гнойова рідина має лужно-аміачний характер і високу концентрацію органіки. По-друге, у процесі анаеробних перетворень виділяється сірководень, який в умовах вологого середовища окиснюється до сірчаної кислоти й інтенсивно руйнує бетон і незахищений метал — це явище газової корозії, найнебезпечніше для невентильованої верхньої зони колекторів, камер і резервуарів. По-третє, конденсат біогазу є слабокислим та агресивним щодо стінок газопроводів і газового обладнання.

Для протидії газовій корозії, відповідно до вимог чинних будівельних норм, передбачається комплекс заходів: застосування стійких до агресивного впливу матеріалів, належна вентиляція мереж, усунення застійних зон, де створюються умови для накопичення агресивних газів, а також влаштування установок збору та відкачування конденсату, що запобігають його тривалому контакту з металом газопроводів. Своєчасне видалення конденсату є водночас і антикорозійним, і протиаварійним заходом.

Раціональним технічним рішенням визнано застосування трубопроводів із полімерних матеріалів (поліетилену, поліпропілену), які за своєю природою хімічно інертні до гнойових стоків і сірководню та не потребують додаткового антикорозійного покриття. Полімерні труби мають гладку внутрішню поверхню, не заростають і не піддаються електрохімічній корозії; задля компенсації температурних деформацій під час їх прокладання враховують значний коефіцієнт лінійного розширення, передбачаючи відповідну розстановку опор та компенсувальні елементи.

Там, де за умовами міцності, тиску або монтажу використовуються сталеві елементи (напірні ділянки, арматура, обв'язка насосних агрегатів), їхні внутрішні та зовнішні поверхні захищають ізоляційними й лакофарбовими покриттями. Вибір методу обґрунтовується корозійними властивостями ґрунту та можливим впливом

блукаючих струмів; за потреби передбачається електрохімічний захист — катодна поляризація або протекторний захист — із підтриманням нормованих захисних потенціалів і влаштуванням контрольно-вимірювальних пунктів. Для забезпечення неперервної електричної провідності та можливості влаштування такого захисту вживають відповідних конструктивних заходів, а в окремих випадках встановлюють ізолювальні фланці.

Залізобетонні труби великого діаметра (у документації наведено ділянки $d=1000$ мм), а також лотки й канали потребують захисту бетону від сульфатної та газової агресії. Це досягається застосуванням щільних бетонів підвищеної водонепроникності, влаштуванням внутрішніх захисних покриттів та належною вентиляцією, що перешкоджає накопиченню сірководню у верхньому, незаповненому стокі просторі труб.

Ємнісні споруди — дві лагуни-відстійники по 14 500 м³, накопичувальна ємність гною, резервуар змішування та гідролізу, резервуар фільтрату, септик — захищають від агресивного впливу середовища комплексно: щільним водонепроникним бетоном, внутрішньою гідроізоляцією та антикорозійним облицюванням. Відкриті ємнісні споруди влаштовують з облицюванням укосів і днища; конструктивно забезпечується можливість періодичного огляду поверхонь, контролю герметичності днища та відновлення захисного шару протягом усього періоду експлуатації, для чого не допускається спирання сторонніх конструкцій на стіни ємностей і прокладання трубопроводів у товщі їх днищ.

Особливу роль у системі антикорозійних заходів відіграє наявна у проєкті спеціальна споруда — десульфатизатор, призначений для видалення сполук сірки зі збродженого субстрату й біогазу. Зниження вмісту сірководню одночасно зменшує корозійну агресивність середовища, а також небезпеку отруєння та вибуху, що позитивно позначається на довговічності газодувки, компресорної, газопроводів і когенераційної установки. Таким чином, технологічний захід із десульфатизації виконує і природоохоронну, і антикорозійну, і безпекову функції.

Газове обладнання та металоконструкції високих споруд додатково захищають від атмосферної корозії та небезпечних електричних впливів.

Влаштований блискавкозахист зі струмоприймачами заввишки 9, 12 і 30 м разом із системою заземлення відводить розряди й вирівнює потенціали, що знижує ризик іскроутворення у вибухонебезпечному середовищі та електрохімічного руйнування заземлених елементів.

Під час будівництва та монтажу окремими актами освідчення приймаються приховані роботи, зокрема протикорозійний захист трубопроводів, ізоляція зварних стиків сталевих труб, герметизація місць проходів трубопроводів крізь стіни камер. Якість захисних покриттів і герметичність з'єднань перевіряються до засипання траншей, що унеможливорює приховані дефекти.

Усі рішення з антикорозійного захисту приймаються з урахуванням вимог нормативних документів щодо захисту будівельних конструкцій від корозії (СП 28.13330, СП 72.13330) та настанови з будівництва, монтажу й контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж (ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012, СНиП 3.05.04-85). Сукупність наведених заходів забезпечує збереження несучої здатності та герметичності споруд протягом усього розрахункового строку служби.

3.3 Охорона навколишнього середовища

Проектовані рішення спрямовані на мінімізацію негативного впливу свиногокомплексу на компоненти довкілля — атмосферне повітря, ґрунти, поверхневі та підземні води, а також на санітарно-епідеміологічне благополуччя прилеглих територій. Сама концепція замкненої (безскидної) системи гноєвидалення є провідним природоохоронним заходом, оскільки виключає скид забруднених гнойових стоків у природний водотік і тим самим усуває головне джерело можливого забруднення Кам'янського водосховища.

Важливим екологічним наслідком реконструкції є відмова від застарілих і небезпечних рішень. Проектом передбачено демонтаж відкритих накопичувачів гною, які раніше експлуатувалися й становили джерело фільтрації забруднень у ґрунт і виділення неприємних запахів. Натомість впроваджено герметичний біотехнологічний ланцюг із закритими ємностями, що є якісним кроком уперед у поводженні з відходами тваринництва.

Захист водних об'єктів і ґрунтів забезпечується герметичністю всього ланцюга збирання, транспортування, зброджування й зберігання гною. Лагуни-відстійники, накопичувальна ємність гною, резервуари та септик влаштовуються з надійною протифільтраційною ізоляцією, що унеможливило проникнення стоків у водоносні горизонти. Контроль герметичності днищ і стінок передбачається на стадії як будівництва, так і експлуатації.

Поверхневий (дощовий) стік із забрудненої території відводиться окремою мережею до реконструйованого ставка-накопичувача дощових стоків, чим запобігається безконтрольне змивання забруднень у відкриті водойми. Роздільне відведення умовно чистого дощового стоку від висококонцентрованих гнойових стоків не лише захищає довкілля, а й зменшує сумарний об'єм відходів, що потребують біотехнологічного оброблення.

Виробничі стоки забійно-санітарного пункту (забійного та утилізаційного відділень), що відрізняються високим вмістом органіки, жирів і завислих речовин, перед подальшим відведенням знешкоджуються на локальних очисних спорудах (ЛОС). Це запобігає перевантаженню системи та потраплянню специфічних забруднень у довкілля, а господарсько-побутові води допоміжних приміщень спрямовуються до септика для попереднього очищення.

Зменшення викидів в атмосферу досягається насамперед завдяки анаеробному зброджуванню гною з уловлюванням біогазу. Замість неконтрольованого виділення метану й аміаку, властивого відкритим накопичувачам, газ організовано збирається й корисно утилізується у когенераційній установці для вироблення теплової та електричної енергії. Це одночасно знижує емісію парникових газів і потребу в органічному паливі, що відповідає сучасним уявленням про енергоефективне та кліматично відповідальне виробництво. Надлишки газу, які з технологічних причин не можуть бути використані, безпечно спалюються на факельному пристрої.

Боротьба з неприємними запахами та шкідливими газовими виділеннями ведеться кількома шляхами: перекриттям поверхонь споруд, належною вентиляцією виробничих приміщень з очищенням викидів, а також

десульфатизацією, яка знижує вміст сірководню. Розташування найбільш «пахучих» споруд — лагун, накопичувальної ємності гною, вузла зброджування — з підвітряного боку відносно зон постійного перебування людей додатково послаблює їхній вплив.

Для відокремлення джерел запаху та біологічного впливу від житлової забудови навколо комплексу встановлюється санітарно-захисна зона, розмір якої приймається згідно з державними санітарними нормами планування та забудови залежно від потужності тваринницького підприємства. Озеленення санітарно-захисної зони деревно-чагарниковими насадженнями підвищує її ефективність, сприяє осадженню пилу та частковому поглинанню газових викидів.

Протиепізоотичні (ветеринарно-санітарні) заходи також мають виражений природоохоронний і суспільно-гігієнічний характер. Влаштування дезблоку, санпропускника та карантину для тварин запобігає поширенню збудників хвороб за межі підприємства, а отже — захищає не лише поголів'я, а й населення та довкілля прилеглих територій від біологічних ризиків.

Рациональне поводження з відходами реалізується через повернення поживних речовин у природний кругообіг: стабілізований і знезаражений у процесі анаеробного зброджування субстрат використовується як органічне добриво для внесення на сільськогосподарські угіддя в агрономічно обґрунтованих нормах. Тим самим відходи тваринництва перетворюються на цінний ресурс, а не на джерело забруднення.

У сукупності прийняті проєктні рішення — безскидність, герметизація споруд, утилізація біогазу, локальне очищення специфічних стоків, роздільне відведення дощового стоку, санітарно-захисна зона та використання субстрату як добрива — забезпечують відповідність об'єкта вимогам природоохоронного й санітарного законодавства України та узгоджуються з принципами найкращих доступних технологій поводження з відходами тваринництва.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ виконано відповідно до Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», профільних НПАОП 01.2-1.09-05 «Правила охорони праці у тваринництві. Свинарство» та НПАОП 2.0.00-1.01-00 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві», а також методичних вказівок ХНУМГ ім. О. М. Бекетова до виконання розділу «Охорона праці» (укл. В. І. Заїченко, О. Ю. Нікітченко). Терміни та визначення прийнято за ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять».

Метою розділу є аналіз умов праці обслуговуючого персоналу під час експлуатації тваринницького комплексу (свинокомплексу) із системою гноєвидалення та анаеробної біогазової переробки гною, виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ), обґрунтування інженерно-технічних та організаційних заходів зі створення безпечних і нешкідливих умов праці, а також виконання розрахунків з охорони праці, що підтверджують доцільність прийнятих рішень.

4.1 Аналіз умов праці на об'єкті

Об'єкт проектування — діючий свинокомплекс закритого циклу, що реконструюється. До складу комплексу входять корпуси утримання тварин (свинарники-відгодівельники, корпуси відтворення, опоросу, дорощування), адміністративно-побутовий корпус із санпропускником, забійно-санітарний пункт з утилізаційним відділенням (крематор), кормоцех, ветеринарний пункт, переходні галереї, а також інженерні споруди: насосні станції, котельня, трансформаторна підстанція, резервна дизельна електростанція потужністю 581 кВт·А.

Технологічно з охороною праці безпосередньо пов'язана система видалення та переробки гною (мережа К13). Це самопливна система періодичної дії: гній накопичується у гнойових ваннах під щільними підлогами та кожні 14 діб

самопливом відводиться каналізаційними трубопроводами до накопичувальної ємності й каналізаційної насосної станції гнойових стоків. Далі рідкий гній надходить у систему анаеробної біологічної обробки: комбіновану ємність гідролізу, ферментатор і пост-ферментатор (біогазову установку з тентовим газгольдером), десульфуратор, сепаратор, дві когенераційні установки та лагуни-накопичувачі рідкої фракції. Під час бродіння субстрату утворюється біогаз (переважно метан CH_4) з домішкою сірководню H_2S , що видаляється у десульфураторі; передбачено також трубу факельного (аварійного) викиду.

Більшість процесів (підтримання мікроклімату, годівля, напування, видалення гною) автоматизовані й не потребують постійної присутності персоналу. Обслуговуючий персонал виконує переважно операторські, ветеринарно-санітарні, ремонтні та прибиральні роботи: контроль і налаштування інженерних систем, відкривання зливних заглушок гнойових ванн, миття та дезінфекцію приміщень апаратами високого тиску (до 120 атм) гарячою водою (55–65 °C), обслуговування біогазової установки, насосних і когенераційних установок.

4.1.1 Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Згідно з класифікацією НШВФ (ГОСТ 12.0.003 / ДСТУ ГОСТ 12.0.003), на робочих місцях обслуговуючого персоналу комплексу присутні фактори чотирьох груп. Їх перелік із зазначенням джерел та місць можливого впливу наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на об'єкті

Група НШВФ	Конкретні фактори	Джерела / місця впливу
Фізичні	Рухомі машини й механізми; підвищена/знижена температура повітря та поверхонь; підвищена вологість і рухомість повітря; підвищений рівень шуму та вібрації; підвищена напруга в електромережі; недостатня освітленість	Насоси, мішалки, сепаратор, когенераційні установки, дизель-генератор; мікроклімат свинарників; миття гарячою водою; електрообладнання насосних і біогазової установки

Хімічні	Аміак (NH_3), сірководень (H_2S), діоксид вуглецю (CO_2), метан (CH_4); пара дезінфектантів і мийних засобів; родентициди-антикоагулянти; вихлопні гази (CO)	Гнойові ванни, канали та насосна гнойових стоків; ферментатор, десульфуратор, газгольдер; дезінфекція приміщень; дератизація; робота ДВЗ
Біологічні	Патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси), збудники зоонозів; гельмінти; продукти життєдіяльності тварин	Контакт із тваринами, гноєм та стічними водами; забійно-санітарний пункт, ветпункт; утилізація полеглих тварин
Психофізіологічні	Фізичні перевантаження (статичні й динамічні); нервово-психічні перевантаження; монотонність праці	Ручні операції з обслуговування ванн і обладнання; робота операторів; чергування

Найбільш специфічними для цього об'єкта є хімічний і вибухопожежний фактори, зумовлені виділенням газів під час розкладання гною та утворенням біогазу. Сірководень H_2S — надзвичайно токсичний газ (2-й клас небезпеки), важчий за повітря, накопичується у заглибленнях, гнойових каналах, насосній станції та колодязях мережі К13. Метан CH_4 утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш (нижня концентраційна межа поширення полум'я $\approx 5\%$ об.), що визначає вибухопожежну небезпеку приміщень біогазової установки.

Таблиця 4.2 — Гранично допустимі концентрації основних шкідливих газів у повітрі робочої зони

Речовина	ГДК р.з., мг/м ³	Клас небезпеки	Дія
Сірководень (H_2S)	10	2	Загальнотоксична
Сірководень у суміші з вуглеводнями	3	2	Загальнотоксична
Аміак (NH_3)	20	4	Подразнювальна
Оксид вуглецю (CO)	20	4	Загальнотоксична
Діоксид вуглецю (CO_2)*	9 000 (0,5 % об.)	—	Задушлива

Примітка. Значення ГДК наведено за ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»; * — для CO₂ наведено орієнтовний робочий рівень.

4.1.2 Мікроклімат, шум, вібрація, освітлення

Роботи в корпусах утримання тварин за енерговитратами належать переважно до категорій Па–Пб (роботи середньої важкості). Нормовані параметри мікроклімату приймають за ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Слід ураховувати, що технологічна температура в приміщеннях опорошу та дорошування сягає 30 °С, що перевищує комфортні для персоналу значення й потребує відповідних організаційних заходів.

Таблиця 4.3 — Оптимальні параметри мікроклімату для робіт категорії Па (ДСН 3.3.6.042-99)

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18–20	40–60	0,2
Теплий	21–23	40–60	0,3

Джерелами шуму та вібрації є насосні агрегати, мішалки, сепаратор, газодувка, когенераційні установки й резервний дизель-генератор. Нормовані рівні приймають за ДСН 3.3.6.037-99 (шум, ультразвук, інфразвук) та ДСН 3.3.6.039-99 (загальна та локальна вібрація); еквівалентний рівень звуку на постійних робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБА. Дизель-генератор постачається у шумозахисному кожусі, що знижує його акустичний вплив.

Природне та штучне освітлення робочих місць і території нормують за ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Для приміщень обслуговування інженерного обладнання (насосні, операторська) штучне освітлення має забезпечувати достатню освітленість для безпечного виконання робіт; у вибухонебезпечних приміщеннях біогазової установки застосовують світильники у вибухозахищеному виконанні.

4.1.3 Електробезпека та вибухопожежна небезпека

За небезпекою ураження електричним струмом виробничі приміщення комплексу (з підвищеною вологістю, струмопровідними підлогами, наявністю електрообладнання) належать до приміщень з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних. Електрообладнання живиться напругою 380/220 В; для безперебійності передбачено резервний дизель-генератор. Вимоги до експлуатації приймають за НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правилами улаштування електроустановок» (ПУЕ).

Приміщення біогазової установки (ферментатор, пост-ферментатор, газгольдер, десульфуратор, будівля газодувки), де можливе утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші метану, за вибухопожежною небезпекою належать до категорії «А» згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», а відповідні зони класифікують як вибухонебезпечні за ПУЕ. Загальні вимоги пожежної безпеки регламентують ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та Правила пожежної безпеки в Україні (наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417).

4.1.4 Біологічна небезпека

Контакт персоналу з тваринами, гноєм, стічними водами та трупами померлих тварин зумовлює ризик зоонозних інфекцій, інвазій (гельмінтози) та алергічних реакцій. Застосування щільних підлог, за яких тварини не контактують з екскрементами, безпідстилкове утримання, режим «все вільно — все зайнято» з профілактичними перервами, карантин завезеного поголів'я, дезінфекція, дезінсекція та дератизація суттєво знижують біологічний ризик, проте не виключають потреби у спеціальних заходах захисту персоналу.

Висновок за результатами аналізу: умови праці на об'єкті характеризуються одночасною дією хімічних (токсичні гази H_2S , NH_3 , CO_2), біологічних, фізичних та психофізіологічних факторів за наявності вибухопожежної небезпеки біогазового

виробництва. Це потребує комплексу узгоджених інженерно-технічних та організаційних заходів, наведених у п. 4.2.

4.2 Заходи із забезпечення безпечних умов праці

Заходи з охорони праці згруповано за напрямками впливу на виявлені НШВФ. Усі рішення обґрунтовано посиланнями на чинні нормативні документи відповідно до вимог методичних вказівок ХНУМГ.

4.2.1 Організаційні заходи

- створення служби охорони праці та призначення відповідальних осіб згідно з НПАОП 0.00-7.11-12 і Типовим положенням про службу охорони праці (НПАОП 0.00-4.21-04);
- проведення інструктажів (вступного, первинного, повторного, позапланового, цільового) та навчання і перевірки знань з питань охорони праці згідно з НПАОП 0.00-4.12-05;
- обов'язкові попередні (під час прийняття на роботу) та періодичні медичні огляди персоналу, закріплення постійних працівників за корпусами;
- розроблення інструкцій з охорони праці за професіями та видами робіт (оператор, ветеринарний лікар, слюсар-ремонтник, прибиральник, оператор біогазової установки);
- заборона виконання робіт у гнойових каналах, колодязях та інших закритих ємностях без оформлення наряду-допуску, газового контролю та страхування; роботи в замкнених просторах виконують бригадою не менше трьох осіб.

4.2.2 Виробнича санітарія: мікроклімат, вентиляція, освітлення

- обладнання всіх виробничих приміщень системами водяного опалення та автоматичної припливно-витяжної вентиляції, що видаляє надлишки тепла, вологи та шкідливих газів (ДБН В.2.5-67:2013, ДСН 3.3.6.042-99);

- підтримання концентрацій H_2S , NH_3 та CO_2 у повітрі робочої зони нижче ГДК (табл. 4.2) за рахунок розрахункового повітрообміну (п. 4.3) та герметизації гнойових ванн водяним затвором;
- автоматизація технологічних процесів, що зменшує час перебування персоналу в зонах підвищеної загазованості;
- забезпечення нормованої освітленості робочих місць і території за ДБН В.2.5-28:2018; застосування у вибухонебезпечних приміщеннях світильників вибухозахищеного виконання;
- облаштування санітарно-побутових приміщень (гардеробні, душові, пральні, медпункт) та проходження персоналом санобробки у санпропускнику.

4.2.3 Електробезпека

- захисне заземлення та занулення електрообладнання (ГОСТ 12.1.030-81, ПУЕ) — розрахунок наведено в п. 4.3;
- застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ), ізоляційного захисту, огорожень струмопровідних частин;
- використання вибухозахищеного електрообладнання у приміщеннях категорії «А»;
- улаштування блискавкозахисту будівель і споруд згідно з ДСТУ Б В.2.5-38:2008 (на генплані передбачено стрижневі блискавковідводи);
- експлуатація електроустановок атестованим персоналом з відповідною групою з електробезпеки.

4.2.4 Вибухопожежна безпека біогазового виробництва

- безперервний автоматичний контроль концентрації метану в приміщеннях біогазової установки із сигналізацією та блокуванням;
- герметизація обладнання, що працює з біогазом; десульфуризація газу для видалення H_2S ; улаштування труби факельного (аварійного) викиду;
- застосування обладнання у вибухозахищеному виконанні та матеріалів, що не іскрять; заземлення для відведення статичної електрики;

- обладнання приміщень аварійною вентиляцією, легкоскридними конструкціями та первинними засобами пожежогасіння; заборона відкритого вогню та куріння;
- розроблення плану евакуації та інструкції про дії персоналу в разі загазованості чи пожежі (ДБН В.1.1-7:2016, Правила пожежної безпеки в Україні).

4.2.5 Біологічна безпека та засоби індивідуального захисту

- дотримання ветеринарно-санітарного режиму: карантин, вакцинація, дезінфекція, дезінсекція, дератизація; контрольно-пропускні пункти з дезбар'єрами;
- забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 0.00-7.17-18: спецодягом і спецвзуттям, рукавицями, захисними окулярами, засобами захисту органів дихання (для робіт з підвищеною загазованістю — ізолювальними або фільтрувальними протигазами);
- прання, сушіння та дезінфекція спецодягу за роздільними потоками брудної та чистої білизни;
- наявність у кожному корпусі аптечки першої допомоги; дотримання правил особистої гігієни.

4.3 Розрахунки з охорони праці обслуговуючого персоналу

У підрозділі виконано два інженерно-технічні розрахунки за методиками, рекомендованими методичними вказівками ХНУМГ (Додаток 4): розрахунок повітрообміну приміщення за виділенням шкідливого газу та розрахунок захисного заземлення електрообладнання. *Вихідні величини, позначені зірочкою (*), є типовими і підлягають уточненню за фактичними даними пояснювальної записки проекту.*

4.3.1 Розрахунок повітрообміну насосної станції гнойових стоків за виділенням сірководню

Найбільш небезпечним за загазованістю приміщенням є насосна станція гнойових стоків (поз. 55), де можливе виділення сірководню. Необхідний повітрообмін за умовою розбавлення шкідливого газу до ГДК визначають за формулою (виробнича вентиляція за газовиділеннями):

$$L = G / (q_{\text{вид}} - q_{\text{прит}}), \text{ м}^3/\text{год},$$

де G — кількість шкідливої речовини (H_2S), що надходить у повітря приміщення, $\text{мг}/\text{год}$;

$q_{\text{вид}}$ — ГДК сірководню у повітрі робочої зони (повітря, що видаляється), $q_{\text{вид}} = 10 \text{ мг}/\text{м}^3$ (табл. 4.2);

$q_{\text{прит}}$ — концентрація H_2S у припливному (зовнішньому) повітрі, $q_{\text{прит}} \approx 0 \text{ мг}/\text{м}^3$.

Приймаємо інтенсивність надходження сірководню $G = 1\,200 \text{ мг}/\text{год}$ (*величина залежить від площі дзеркала стоків і температури; приймається за технологічними даними або за питомим виділенням). Тоді:

$$L = 1\,200 / (10 - 0) = 120 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для перевірки за кратністю повітрообміну приймаємо об'єм приміщення насосної $V = 60 \text{ м}^3$ (* розміри $5 \times 4 \times 3 \text{ м}$). Кратність повітрообміну:

$$n = L / V = 120 / 60 = 2 \text{ 1}/\text{год}.$$

Оскільки для приміщень з можливим виділенням H_2S нормативна кратність становить не менше 5–10 1/год, до встановлення приймаємо більше значення за умовою кратності:

$$L_{\text{пр}} = n_{\text{норм}} \cdot V = 10 \cdot 60 = 600 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Висновок: для підтримання концентрації сірководню в насосній станції нижче ГДК приймаємо припливно-витяжну вентиляцію продуктивністю не менше $600 \text{ м}^3/\text{год}$ з резервуванням та аварійним режимом, доповнену стаціонарним газоаналізатором H_2S із світлозвуковою сигналізацією.

4.3.2 Розрахунок захисного заземлення електрообладнання

Виконаємо розрахунок контурного заземлювального пристрою для електрообладнання насосної станції / когенераційної установки напругою до 1 000 В (ГОСТ 12.1.030-81, ПУЕ). Нормований опір заземлювального пристрою для установок напругою до 1 000 В становить $R_z \leq 4 \text{ Ом}$.

Вихідні дані (* приймаються типовими):

- питомий опір ґрунту (суглинок) $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- вертикальний електрод — сталевий стрижень довжиною $l = 2,5 \text{ м}$, діаметром $d = 0,05 \text{ м}$;
- глибина закладення верху електрода $t_0 = 0,7 \text{ м}$; відстань від поверхні до середини електрода $t = t_0 + l/2 = 1,95 \text{ м}$;
- розташування електродів — у ряд, відношення відстані до довжини $a/l = 2$.

Опір розтіканню струму одиночного вертикального електрода (стрижневого):

$$R_v = (\rho / 2\pi l) \cdot [\ln(2l/d) + 0,5 \cdot \ln((4t+l)/(4t-l))]] .$$

Підставивши значення:

$$R_v = (100 / (2 \cdot 3,14 \cdot 2,5)) \cdot [\ln(2 \cdot 2,5/0,05) + 0,5 \cdot \ln((4 \cdot 1,95+2,5)/(4 \cdot 1,95-2,5))]] \approx \\ \approx 6,37 \cdot [\ln(100) + 0,5 \cdot \ln(10,3/5,3)] = 6,37 \cdot [4,605 + 0,332] \approx 31,4 \text{ Ом}.$$

Орієнтовна кількість вертикальних електродів без урахування екранування:

$$n_0 = R_v / R_z = 31,4 / 4 \approx 8 \text{ шт.}$$

З урахуванням коефіцієнта використання (екранування) вертикальних електродів $\eta_v = 0,7$ (для 8 електродів у ряд):

$$n = R_v / (R_z \cdot \eta_v) = 31,4 / (4 \cdot 0,7) \approx 11 \text{ шт.}$$

Приймаємо 11 вертикальних електродів, об'єднаних горизонтальною сталевією смугою (заземлювальним провідником). Перевірочний результуючий опір контуру з урахуванням горизонтального електрода не перевищує нормованих 4 Ом, що задовольняє вимоги ГОСТ 12.1.030-81 і ПУЕ.

Висновок: для електрообладнання прийнято контурний заземлювальний пристрій з 11 вертикальних стрижневих електродів, що забезпечує опір розтіканню струму $R_z \leq 4 \text{ Ом}$ і безпеку персоналу під час експлуатації електроустановок.

4.4 Висновки до розділу

1. Проаналізовано умови праці обслуговуючого персоналу під час експлуатації свиногокомплексу із системою гноєвидалення та біогазовою установкою; виявлено небезпечні та шкідливі виробничі фактори фізичної, хімічної, біологічної та психофізіологічної природи (табл. 4.1).
2. Установлено, що визначальними для об'єкта є хімічний фактор (токсичні гази H_2S , NH_3 , CO_2 , що утворюються при розкладанні гною) та вибухопожежна небезпека біогазового виробництва (метан CH_4), що потребують першочергової уваги.
3. Обґрунтовано комплекс організаційних та інженерно-технічних заходів зі створення безпечних і нешкідливих умов праці: автоматизація процесів, припливно-витяжна вентиляція, газовий контроль, вибухозахищене електрообладнання, захисне заземлення та блискавкозахист, ветеринарно-санітарний режим і забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту.
4. Виконано розрахунок повітрообміну насосної станції гнойових стоків за виділенням сірководню; прийнято продуктивність вентиляції не менше 600 $\text{м}^3/\text{год}$, що забезпечує концентрацію H_2S нижче ГДК ($10 \text{ мг}/\text{м}^3$).
5. Виконано розрахунок захисного заземлення електрообладнання; прийнято контурний заземлювач з 11 вертикальних електродів з опором розтіканню струму не більше 4 Ом, що відповідає вимогам ГОСТ 12.1.030-81 та ПУЕ.
6. Реалізація запропонованих заходів забезпечує відповідність умов праці вимогам чинного законодавства України та нормативних документів, знижує ризик травматизму й професійних захворювань і має позитивний соціальний та економічний ефект.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт системи водовідведення свиногокомплексу із закінченим виробничим циклом у смт Дніпровське. За результатами виконаних досліджень і розрахунків зроблено такі загальні висновки:

1. Обґрунтовано роздільну систему водовідведення комплексу з окремим відведенням побутових (K1), виробничих (K3), гнойових (K13) та дощових (K2) стоків, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-75:2013 і дає змогу застосувати оптимальний метод поводження з кожною категорією стоків.

2. Визначено розрахункові обсяги водовідведення: загальне надходження стоків (без урахування дощових) становить близько 179,7 м³/добу, з яких домінують гнойові стоки (≈123,3 м³/добу); побудовано графік нерівномірності надходження, який покладено в основу розрахунку споруд і вибору обладнання.

3. Виконано трасування та гідравлічний розрахунок водовідвідної мережі: прийняті матеріали й діаметри трубопроводів (ПВХ/ПП Ø50–315 мм, напірний гноєпровід ПЕ 100) та ухили забезпечують самоочисні швидкості ($v \geq 0,70$ м/с) і нормативне наповнення колекторів.

4. Запроєктовано каналізаційну насосну станцію з двома насосами ТМР 075 (робочий і резервний) та приймальним резервуаром об'ємом 300 м³, що забезпечує надійне перекачування гнойових стоків з урахуванням нерівномірності їх надходження.

5. Розраховано триланкову схему очищення стічних вод: анаеробну біологічну обробку гною у ферментаторі (об'єм ≈3125 м³, HRT 25 діб) з виходом біогазу ≈2,28 млн м³/рік та когенерацією (1320 кВт ел., 1652 кВт тепл.); механіко-сорбційне очищення дощових стоків на ЛОС «RAINPARK» (60 л/с) до показників, придатних для зрошення; накопичення з вивезенням побутових і виробничих стоків.

6. Обґрунтовано систему знезараження та обробки осаду: знешкодження досягається анаеробним зброджуванням, витримкою рідкої фракції в лагунах (загальний об'єм 29 000 м³) та карантуванням твердої фракції, після чого продукти

використовуються як органічні добрива; передбачено гідроізоляцію лагун геомембраною та контроль витоків.

7. Розглянуто питання експлуатації, захисту споруд від корозії, охорони навколишнього середовища та охорони праці; виконано розрахунки повітрообміну насосної станції й захисного заземлення електрообладнання, що забезпечують безпечні умови праці персоналу та екологічну безпеку об'єкта.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – Київ: Мінрегіон України, 2012.
2. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіон України, 2013.
3. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіон України, 2013.
4. ВНТП-АПК-02.05. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). – Київ: Мінагрополітики України.
5. ВНТП-АПК-09.06. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною. – Київ: Мінагрополітики України.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
7. ДСТУ 3013-95. Гідросфера. Правила контролю за відведенням дощових і снігових стічних вод з територій міст і промислових підприємств. – Київ: Держстандарт України, 1995.
8. ДСТУ 7591:2014. Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014.
9. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підручник. – Київ: Вища школа, 2005. – 671 с.
10. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: навчальний посібник. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
11. The Basis of Anaerobic Digestion Process [Електронний ресурс] / EPCM Holdings. – Режим доступу: <https://epcmholdings.com/the-basis-of-anaerobic-digestion-process/>.
12. Using Biogas for Combined Heat and Power [Електронний ресурс] / Clarke Energy. – Режим доступу: <https://www.clarke-energy.com/>.

13. How Coalescing Oil–Water Separators Work [Електронний ресурс] / Jensen Precast. – Режим доступу: <https://www.jensenprecast.com/>.

14. Larson R.A. Screw Press Separation of Manure [Електронний ресурс] / University of Wisconsin–Madison Extension. – Режим доступу: <https://learningstore.extension.wisc.edu/>.

15. ДСТУ Б В.2.5-32:2007. Труби безнапірні з поліпропілену, поліетилену, непластифікованого полівінілхлориду та фасонні вироби до них для зовнішніх мереж каналізації. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2007.

16. Таблиці для гідравлічного розрахунку каналізаційних мереж і дюкерів за формулою акад. М.М. Павловського (таблиці Лукіних). – Київ: Будівельник, 1974.