

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Підвищення ефективності процесу гомогенізації**

**та перекачування рідкого гною**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Патик Олександр Юрійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Івлєв Віталій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Рівень вищої освіти: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Патику Олександрю Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Підвищення ефективності процесу гомогенізації та перекачування рідкого гною

керівник роботи: Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 24 » жовтня 2025 року № 3182

**2. Строк подання студентом роботи** 12.12.2025 р.

**2. Вихідні дані до роботи** Аналіз стану питання процесів та обладнання для обробки гною, зокрема насоси. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання. 2. Теоретичне обґрунтування параметрів насоса-гомогенізатора рідкого гною. 2. Експериментальні дослідження процесу. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка удосконаленого насоса-гомогенізатора рідкого гною. Загальні висновки. Бібліографічний список

±

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.10.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2025 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2025 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2025р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2025 р.	
5	Економічний	до 26.11.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2025р.	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Патик О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Патик О.Ю. Підвищення ефективності процесу гомогенізації та перекачування рідкого гною /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі наведено характеристики рідких гнойових стоків як органічного добрива та виконано аналіз технологій їх переробки й існуючих технічних засобів гомогенізації й перекачування. У другому розділі викладено теоретичні основи роботи насоса-понтону та обґрунтовано його конструктивно-технологічну схему. Третій розділ присвячено методиці та результатам експериментальних досліджень, побудові поверхонь відгуку й напірно-видаткової характеристики. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та охорони навколишнього середовища, пов'язані з експлуатацією лагун і насоса-понтону. Окремо подано розділ економічної ефективності використання розробленої конструкції.

**Ключові слова:** насос-понтон, рідкі органічні добрива, гомогенізація стоків, перекачування рідкого гною, шнековий транспортуючий орган, економічна ефективність, охорона навколишнього середовища..

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Значення гнойових стоків як цінного органічного добрива	10
1.2 Огляд і аналіз технологій переробки та утилізації гнойових стоків	15
1.3 Огляд і аналіз технічних засобів для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив	21
1.4 Висновки по розділу	35
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА-ПОНТОНУ	37
2.1 Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічної схеми насоса-понтону	37
2.2 Обґрунтування технологічних параметрів процесу перекачування рідких органічних добрив насосом-понтонном	44
2.3 Обґрунтування параметрів транспортуючого шнека	49
2.4 Обґрунтування параметрів понтона	52
2.5 Висновки по розділу	53
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ	55
3.1 Методика визначення раціональних геометричних і технологічних параметрів насоса-понтону	55
3.2 Результати визначення геометричних і технологічних параметрів насоса-понтону	57
3.3 Результати визначення напірно-витратної характеристики	61
3.4 Висновки по розділу	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	63
4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі на лагунах для зберігання та обробки рідкого гною	63

4.2	Оцінка небезпечних факторів з точки зору охорони праці при використанні розробленого насоса-понтону	64
4.3	Охорона навколишнього середовища при роботі на лагунах для зберігання та обробки рідкого гною	65
4.4	Висновки по розділу	66
5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕНОГО НАСОСА-ГОМОГЕНІЗАТОРА РІДКОГО ГНОЮ	68
5.1	Вихідні дані	68
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	69
5.3	Висновки по розділу	70
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
	БІБЛІОГРАФІЯ	73
	ДОДАТКИ	75

## ВСТУП

Сучасний стан розвитку тваринництва характеризується переходом до промислових технологій утримання поголів'я, концентрацією виробництва та значним збільшенням обсягів рідких органічних відходів. На великих свинокомплексах щорічно утворюються тисячі кубічних метрів рідкого гною та гнойових стоків, які за умови неналежного зберігання й переробки становлять серйозну санітарно-епідеміологічну й екологічну загрозу. При цьому свинячі гнойові стоки є цінним органічним добривом, здатним істотно підвищувати родючість ґрунтів, покращувати їх агрохімічні й агрофізичні властивості, сприяти накопиченню гумусу та підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

Основною проблемою застосування рідкого гною як добрива є необхідність його попередньої підготовки: гомогенізації, подрібнення грубодисперсних включень, знезараження та рівномірного внесення на поля в агротехнічно обґрунтованих дозах. На практиці широкого поширення набули лагуни-гноєховища, де рідкий гній накопичується й частково піддається біохімічним процесам перетворення. Однак у таких спорудах відбувається розшарування маси, утворення поверхневої корки та донних відкладень, що ускладнює відбір однорідної суміші, сприяє локальному загазуванню й ускладнює подальше перекачування органічних добрив до місць внесення.

У зв'язку з цим актуальним є створення й обґрунтування удосконалених конструкцій обладнання, яке забезпечує інтенсивну гомогенізацію гнойових стоків безпосередньо в лагуні та їх надійне перекачування в напірну магістраль при мінімальних енерговитратах. Перспективним напрямом є використання насосів-понтонів, що розміщуються безпосередньо на поверхні лагуни й виконують функції подрібнення, перемішування та транспортування рідких органічних добрив.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес гомогенізації та перекачу-

вання рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ у системах утилізації рідкого гною тваринницьких підприємств. Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри насоса-понтону, а також їх вплив на гідравлічні й енергетичні показники його роботи.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності процесу гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ шляхом удосконалення конструкції насоса-понтону та обґрунтування його раціональних геометричних і технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- виконати огляд і аналіз існуючих технологій переробки та утилізації рідкого гною, а також технічних засобів для гомогенізації та перекачування гноєвих стоків;
- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун;
- розробити теоретичні основи розрахунку процесу гомогенізації й перекачування, отримати залежності для визначення напору, витрати та енергетичних показників роботи насоса-понтону;
- провести експериментальні дослідження дослідного зразка насоса-понтону, побудувати його напірно-видаткову характеристику та зіставити отримані результати з теоретичними розрахунками;
- виконати економічну оцінку ефективності використання розробленого насоса-понтону порівняно з базовим варіантом обладнання;
- опрацювати питання охорони праці й охорони навколишнього середовища при експлуатації лагун-гноєсховищ та насоса-понтону.

## **1 СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **1.1 Значення гнойових стоків як цінного органічного добрива**

Гній – це суміш екскрементів тварин із підстилкою, залишками кормів, водою та іншими домішками, що потрапляють у систему видалення гною.

Свинячий гній за своєю природою є полідисперсною суспензією з квазіпластичними плинними властивостями. Його рухливість визначається вмістом колоїдних частинок і часткою сухої речовини.

Прийнято розрізняти напіврідкий свинячий гній (вологість до 90%) і рідкий (90–93%) залежно від умісту води. Якщо вологість суміші екскрементів перевищує 93%, її відносять до гнойових стоків.

Гній, що утворюється на великих свинокомплексах за умов згодовування концентрованих кормів, характеризується підвищеним умістом поживних елементів, необхідних рослинам.

Хімічний склад гною та гнойових стоків безпосередньо залежить від цілого комплексу чинників: раціону та типу годівлі, статі та віку тварин, технології утримання, породних особливостей тощо. Частина поживних речовин, що містяться в кормах, виводиться з організму з екскрементами, тому зміна структури раціону відразу відображається на складі гною. Ступінь перетравності кормів також впливає на кількість і форму поживних речовин у стоках. Вміст сухої речовини в гнойових стоках прямо пов'язаний зі ступенем розбавлення їх водою.

У середньому для свинячих стоків характерні такі показники хімічного складу: вода – близько 96,7%, суха речовина – 3,3%, азот (N) – 0,63%, фосфор ( $P_2O_5$ ) – 0,07%, калій ( $K_2O$ ) – 0,43%.

Висока ефективність використання рідкої фракції як добрива значною мірою пояснюється великим умістом сечовини в сечі тварин. Крім того, у гнойових стоках міститься значна кількість мікроелементів – бору, марганцю, міді, цинку тощо.

Отже, за умови правильного розділення свинячих гнойових стоків на тверду та рідку фракції, дотримання рекомендованих способів зберігання, використання технічних, хімічних і біологічних засобів обробки, а також відповідних строків витримувannya можна одержати високоякісне органічне добриво. Його внесення сприяє підвищенню родючості орного шару ґрунту.

Гній впливає на ґрунт і вирощувані культури як безпосередньо, так і опосередковано:

- поповнює запаси елементів живлення (азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка, мікроелементи тощо);
- збагачує ґрунтове і приземне повітря вуглекислим газом;
- вносить у ґрунт різноманітні мікроорганізми й органічні речовини.

Тривале систематичне внесення гною в поєднанні з розвитком рослин і мікробіотою істотно покращує фізико-хімічні властивості та структуру ґрунтів:

- зростають ємність вбирання (ЄКО), буферність, ступінь насиченості основами;
- збільшується вміст рухомих форм елементів живлення;
- знижується кислотність і вміст рухомих форм токсичних елементів (алюмінію, марганцю тощо).

Поліпшення цих показників родючості й окультуреності ґрунтів супроводжується відчутним зростанням урожайності сільськогосподарських культур та підвищенням якості продукції.

Під час зберігання хімічний склад гнойових стоків змінюється: частина органічної речовини та біогенних елементів втрачається. Оскільки рідкий гній контактує з атмосферою лише через поверхневий шар, надходження кисню в

товщу маси обмежене, тому в ньому переважають анаеробні мезофільні процеси. У результаті легкомінералізовані органічні сполуки розкладаються з утворенням газів: сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ), вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), аміаку ( $\text{NH}_3$ ), метану ( $\text{CH}_4$ ), меркаптанів і органічних кислот.

Упродовж кількох днів зберігання понад 90 % сечовини переходить у аміак і вуглекислий газ, що спричиняє підвищення частки амонійного азоту в перші 4–5 діб. Оскільки на сечовину припадає приблизно 50 % загального азоту гною, через кілька днів більше половини всього азоту в стоках уже перебуває в амонійній формі. Подальші втрати азоту, органічної та сухої речовини залежать від глибини сховища, температури навколишнього середовища, частоти перемішування, інтенсивності сонячного випромінювання тощо.

Співвідношення форм азоту в гної визначається частками твердих і рідких виділень. Азот у калі представлений переважно повільно мінералізованими сполуками, тому він погано засвоюється рослинами в перший рік після внесення. Азот сечі – легкокорозчинний, швидко переходить в аміачну форму й одразу доступний для рослин. Фосфор у гної в основному міститься в органічній формі, але, як правило, він засвоюється рослинами краще, ніж фосфор із мінеральних добрив.

Калій у всіх складових гною перебуває у високорухомих і легкодоступних формах. На відміну від хлорвмісних мінеральних добрив, калій у гної практично не містить хлору, що особливо важливо для культур, чутливих до цього елемента. Більша частина калію гною засвоюється вже в перший рік після внесення.

У процесі розкладання гною разом із мінералізацією азоту, фосфору та сірки не менше 70 % вуглецю органічної речовини переходить у діоксид вуглецю, а решта (приблизно 30 %) іде на утворення гумусу. Свинячий гній не лише сприяє приросту гумусу, а й формує його гуматний тип. Діоксид вуглецю,

утворюючи в ґрунтовому розчині вугільну кислоту, підвищує розчинність ґрунтових фосфатів і сполук кальцію, що поліпшує поживний режим ґрунту, тоді як кальцій через коагуляцію колоїдів покращує його структуру.

Відповідальність за захист земель від негативного впливу сільськогосподарської діяльності покладається на землекористувачів. Відповідно до вимог законодавства щодо державного регулювання забезпечення родючості земель сільськогосподарського призначення, власники та користувачі земельних ділянок зобов'язані здійснювати виробництво продукції способами, що забезпечують відтворення родючості ґрунтів, а також запобігають або мінімізують шкідливий вплив на навколишнє природне середовище. Вони повинні дотримуватися встановлених стандартів, норм, регламентів проведення агротехнічних, агрохімічних, меліоративних, фітосанітарних і протиерозійних заходів.

Тому перед внесенням органічного добрива необхідно перевіряти його відповідність технічним умовам (ТУ), дотримуватися строків та норм внесення, а також своєчасно загортати добрива в ґрунт згідно з вимогами чинних стандартів.

Перед використанням рідкого гною чи його фракцій як добрива для сільськогосподарських угідь вони мають пройти відповідну підготовку, зокрема карантинування й дегельмінтизацію згідно із санітарними правилами. Для підвищення якості добрив, отриманих із гнойових стоків, і скорочення термінів їх дозрівання застосовують спеціальні бактеріальні препарати, які вносять у рідку фракцію.

Таким чином, для підвищення родючості ґрунтів доцільно використовувати органічні добрива, у тому числі й свинячі стоки, але лише в розрахованих дозах і за умови повноцінної підготовки до внесення.

Для повного санітарного знезараження гнойових відходів встановлено такі мінімальні строки витримування в лагунах:

- несепарований рідкий гній можна вносити в ґрунт не раніше ніж через 12 місяців зберігання;

- після поділу на тверду і рідку фракції рідку фракцію дозволяється вносити через 4 місяці витримки в літній період і через 6 місяців – узимку.

Після сепарації свинячого гною в рідку фракцію переходить:

- близько 80 % загального азоту;
- приблизно 90 % калію;
- орієнтовно 50 % фосфору.

Отже, тверда фракція виступає переважно фосфорним добривом, а її об'єм становить лише 6–12 % від вихідного об'єму гною. Відповідно площі внесення твердої фракції слід розраховувати насамперед за вмістом фосфору. При цьому необхідна площа для внесення сепарованого рідкого гною зменшується приблизно на 20 % порівняно з нормами для не розділеного гною.

Середні показники складу рідкого свинячого гною такі: вода – 94–95%; органічні речовини – 3,5–4%; загальний азот – 0,17%; фосфор – 0,08%; калій – 0,06%.

За вмістом діючих речовин 1000 м<sup>3</sup> рідкого свинячого гною в середньому відповідає близько 7,6 т мінеральних добрив у перерахунку на аміачну селітру, подвійний суперфосфат і хлористий калій.

Азот є найрухомішим із біогенних елементів і справляє найбільший вплив на урожайність, тому норми внесення рідкого гною встановлюють саме за загальним азотом. Конкретні дози залежать від вирощуваної культури (табл. 1.1).

За зрошення норму внесення безпідстилкового гною, розраховану за азотом, дозволяється збільшувати приблизно у 1,5 раза.

Через значну частку мінеральної (амонійної) форми в загальному азоті рідкий гній належить до швидкодіючих органічних добрив: основний ефект його внесення проявляється вже в перший рік, на відміну від підстилкового гною, який має більш тривалу дію. Рідкий гній можна вносити щорічно.

Таблиця 1.1 – Норми внесення рідкого свинячого гною під сільськогосподарські культури

Культура	Норма за азотом, кг/га	Норма ЖСН, т/га	Примітка
Озимі зернові	120–140	68–80	Перед основним обробітком (оранкою)
Ярі зернові	100–150	57–85	Восени під оранку або навесні перед культивуацією
Картопля столова	120–200	68–114	Восени під оранку або навесні перед весняною оранкою
Кукурудза на силос і зелений корм	240–400	136–220	Аналогічно: під основний обробіток
Соняшник	близько 150	≈ 85	Під оранку

Кукурудза (як на силос, так і на зерно) вирізняється високим винесенням елементів живлення, тому під цю культуру протягом обмеженого часу допустиме застосування підвищених доз добрив – до подвійної норми без помітного погіршення якості продукції.

Після сепарації більша частина загального азоту залишається в рідкій фракції, але його концентрація знижується приблизно на 20 %. Тому розраховані норми внесення рідкої фракції після сепарації слід збільшувати на 20 % порівняно з наведеними в таблиці значеннями.

## 1.2 Огляд і аналіз технологій переробки та утилізації гнойових стоків

Перехід тваринництва на промислову основу призвів до того, що щороку на підприємствах АПК утворюються сотні мільйонів тонн гною та посліду. Накопичення таких мас, кількість яких часто значно перевищує природний потенціал біодеградації, загострює проблему охорони навколишнього середовища: відбувається нітратне й мікробне забруднення ґрунтів, повітря, поверхневих та

підземних вод. Рівень мікробного та загального забруднення на територіях, прилеглих до великих комплексів, у багато разів перевищує природний фон.

Найбільшу екологічну небезпеку становлять саме рідкі гнойові стоки, оскільки вони легко проникають у ґрунт, забруднюють підземні води й атмосферу, але при цьому містять основну частку азоту.

Більшість сучасних тваринницьких комплексів працюють за безпідстилковою технологією утримання, тому гній у них надходить у вигляді рідкої маси. У багатьох господарствах рідку фракцію щоденно відкачують із гнойозбірників і вивозять на поля в ємностях-цистернах, одразу вносячи в ґрунт. Однак такий підхід є помилковим: після надходження в гноєсховище гній повинен пройти карантинування протягом не менше 3–6 місяців, щоб у процесі визрівання відбулося пригнічення чи повне знищення більшості патогенних мікроорганізмів.

Завдяки впровадженню прогресивних технологій виробництво продукції тваринництва за останні роки значно зросло, що закономірно спричинило різке збільшення кількості гною та посліду. При цьому в багатьох господарствах застосовують порівняно нову систему видалення гною – гідрозмив, за якої гній і послід змиваються водою. У результаті утворюються рідкі гнойові та послідні стоки, що є найбільш екологічно небезпечною формою відходів. Питання їх очищення, дегельмінтизації та утилізації досі опрацьоване недостатньо.

Основна складність утилізації рідких стоків полягає в тому, що при гідрозмиві гній значно розбавляється водою, що збільшує період виживання патогенної мікрофлори більш ніж утричі. У рідкому гної можуть тривалий час зберігатися збудники небезпечних хвороб: кишкова паличка, дизентерійні бацили, збудники холери й тифу, віруси гепатиту й грипу, сальмонели, цисти найпростіших (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium* та ін.). Це означає, що навіть після тривалого зберігання рідких стоків зберігається потенційна епідеміологічна небезпека.

Серйозною причиною забруднення навколишнього середовища рідкими тваринницькими стоками (ґрунтів, водойм, повітря) є відсутність ефективних

очисних споруд, адаптованих до роботи в системах гідрозмиву, а також спеціального технологічного обладнання. Багато каналізаційно-очисних споруд, побудованих раніше, не модернізувалися роками, працюють на межі або навіть перевищують проектну потужність. У значної частини господарств узагалі відсутні спеціальні засоби очистки та утилізації рідких стоків. Для великих підприємств об'єм рідких відходів, що підлягають утилізації, може становити від 100 до 1500 м<sup>3</sup> на добу.

Навіть безпосереднє внесення рідких тваринницьких стоків на поля в «чистому» вигляді призводить до низки екологічних проблем:

- у ґрунт потрапляє велика кількість життєздатного насіння бур'янів;
- вносяться патогенні мікроорганізми, яйця гельмінтів, небажані хімічні сполуки;
- відбувається накопичення важких металів.

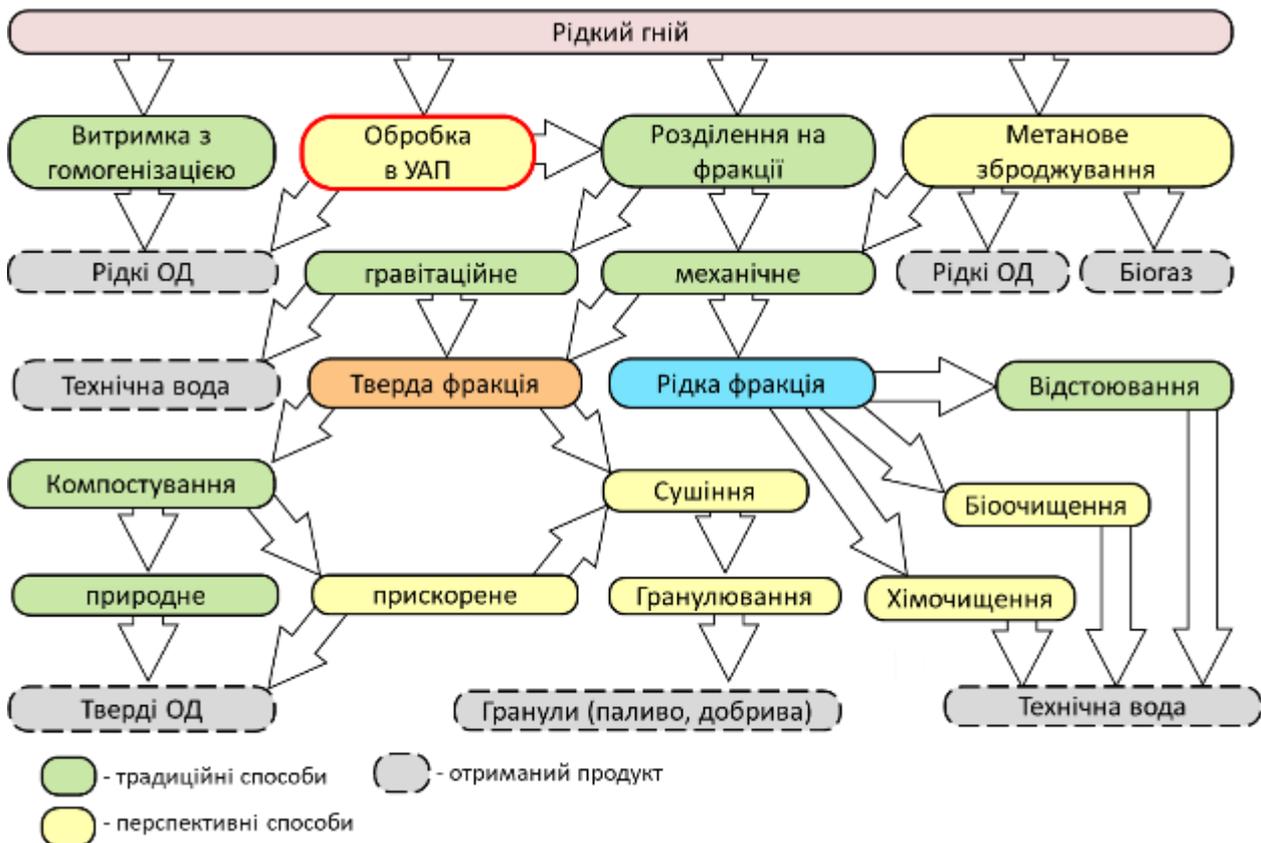


Рисунок 1.1 – Технології переробки рідкого гною

Аналіз зеленої маси, вирощеної на таких полях, показує перевищену концентрацію нітратів - до 883 мг/кг. Крім того, значна частка рослинних і лігніновмісних компонентів у стоках (до 30 % сухої речовини: солома, залишки корму, підстилка, неперетравлені частки тощо) призводить до того, що азот ґрунту, потрібний рослинам, витрачається переважно на мінералізацію органічних решток, а не на живлення кореневої системи культур.

Додатковою проблемою є забруднення повітря. Результати досліджень свідчать про значний негативний вплив тваринницьких комплексів на стан атмосферного повітря навіть на прилеглих до них територіях. Наприклад, птахофабрика на 400 тис. несучок за рік накопичує таку кількість посліду, що в процесі його розкладання утворюється приблизно 700 т газоподібних продуктів, серед яких близько 450 т метану (приблизно 65 %), 208 т вуглекислого газу (30 %) і близько 35 т суміші інших сполук (водень, індол, скатол, сірководень, аміак тощо). Економічний збиток для екосистеми від таких викидів оцінюється у сотні мільйонів гривень. Навіть на відстані 50–200 м від ферми забруднення повітря є дуже високим і сягає понад трьох чвертей рівня забрудненості безпосередньо на території комплексу.

Також відзначено, що на фермах і на прилеглих до них ділянках у повітрі домінують бацили (паличкоподібні бактерії) порівняно з коками, що додатково підтверджує негативний вплив виробничої діяльності на мікробіологічний стан атмосферного повітря. На сьогодні вже розроблено та ефективно застосовується ряд технологій, які дозволяють одночасно розв'язати екологічні й економічні завдання. Оскільки рідкий гній являє собою суміш твердих часток і рідини, ключова ідея полягає в розділенні цих фракцій до того, як забруднювальні компоненти повністю перейдуть у розчин.

На ринку представлено кілька основних типів технологічного обладнання для розділення рідких тваринницьких стоків на тверду та рідку фракції:

- стаціонарні вібросита;
- проціджувачі (решітчасті або щілинні фільтри);

- фільтр-преси;
- шнекові прес-сепаратори.

Нижче наведено порівняльні дані щодо ефективності відокремлення твердої фракції та деяких експлуатаційних параметрів різних типів обладнання (концентрація твердих речовин у вихідних стоках – 5 %).

Таблиця 1.2 – Порівняння обладнання для відокремлення твердої фракції з рідких стоків

Показник	Шнековий прес-сепаратор	Фільтр-прес	Проціджувач	Вібросито
Вміст сухих речовин у твердій фракції	35...50 %	20...30 %	9...15 %	7...10 %
Вміст сухих речовин у рідкій фракції	1,2...1,7 %	2...3 %	2...4 %	3...4 %
Ступінь відокремлення N, P, K	35...95 %	15...50 %	10...35 %	5...30 %
Споживання електроенергії, кВт·год (за годину роботи)	4...7,5	25...60	8...15	15...30
Складність експлуатації	Низька	Висока	Низька	Висока
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	10...70	4...150	10...50	3...10

Інше обладнання для зневоднення рідкого гною показало низьку ефективність з різних причин:

- незадовільна якість зневодненої маси (надто висока вологість твердої фракції);
- жорсткі вимоги до властивостей вихідного середовища (обмеження за вмістом сухих речовин);
- складність обслуговування й монтажу;

- висока вартість закупівлі та експлуатації.

Більшість сепараторів працюють за принципом фільтрації під дією сили тяжіння: рідина проходить крізь сито, а тверді частки затримуються. Однак такі установки потребують трудомісткого очищення робочих поверхонь і забезпечують недостатній ступінь зневоднення, у результаті чого отримується надто вологий матеріал. Моделі з вальцьовими пресами є дорожчими в обслуговуванні й не дають істотного покращення якості осушення.

Фізико-механічні властивості твердої фракції після сепарації є оптимальними для компостування. У результаті компостування отримують високоякісне органічне добриво або підстилковий матеріал для тварин.

Рідка фракція після розділення зазвичай має нейтральну реакцію середовища, підвищений уміст біогенних елементів і сприятливе співвідношення фосфору, азоту та калію (приблизно 1,4 : 1,0 : 1,6). Вміст зважених речовин становить близько 1,2 %, при цьому за правильно організованої системи підготовки в ній відсутні патогенні мікроорганізми та яйця гельмінтів. Така рідка фракція може використовуватися повторно в системах гідрозмиву або як рідке органічне добриво для зрошення полів.

У досліджах на посівах пшениці застосування рідкої фракції як добрива в дозі близько 300 м<sup>3</sup>/га на рік забезпечувало приріст урожайності приблизно на 0,6 т/га. При цьому не спостерігалось забруднення ґрунту на глибину 30 та 60 см, а вміст нітратів, важких металів та інших хімічних сполук залишався значно нижчим за гранично допустимі концентрації, без істотного впливу на мікробіологічний стан ґрунту.

У середньому при внесенні 20 т/га ферментованого гною у ґрунт надходить близько 100 кг азоту, 50 кг фосфору (в перерахунку на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 120 кг калію (K<sub>2</sub>O), 80 кг кальцію (CaO) та за рахунок процесів гуміфікації утворюється приблизно 1,0–1,2 т/га гумусу. Це означає, що від кожної тонни гною запас гумусу

в ґрунті зростає орієнтовно на 35–50 кг/га. Для підвищення вмісту гумусу в орному шарі на 1 % протягом 5 років рекомендують щорічно вносити не менше 100 т/га органічної речовини.

Ферментований гній засвоюється рослинами поступово:

- у перший рік – близько 60 % поживних речовин;
- у другий рік – до 30 %;
- у третій рік – орієнтовно 10 %.

Використовувати гній як добриво можна лише після його належної переробки. Для цього застосовують кілька найбільш ефективних способів (компостування, сепарацію з наступним визріванням фракцій, біологічну та санітарну обробку тощо), що дозволяють мінімізувати екологічні ризики й отримати цінне органічне добриво з прогнозованими властивостями.

### **1.3 Огляд і аналіз технічних засобів для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив**

Перемішування гнойових стоків у лагунах необхідне з кількох причин:

- прискорення процесів розкладання та перегнивання органічної маси;
- отримання однорідної суміші перед внесенням на поля;
- руйнування та видалення твердих осадів, що накопичуються на дні лагун.

Для розв'язання цих завдань застосовують низку технічних рішень, які відрізняються конструкцією, принципом дії, продуктивністю та мобільністю.

**Занурювані електричні міксери**

Одна з найпоширеніших груп обладнання - занурювальні міксери (рисунок 2). Вони складаються з електродвигуна, редуктора та робочого органу у вигляді лопатей. Зазвичай застосовують дволопатеві робочі органи збільшеного

діаметра з самоочисним профілем. Така форма дозволяє зменшити намотування сміття й рослинних решток, які є в лагуні, та забезпечити стабільну роботу міксерів.

Стаціонарні занурювальні міксери (рисунок 1.3) використовують там, де неможливо застосувати обладнання з приводом від ВВП трактора, наприклад через відсутність під'їзних шляхів або обмежений простір навколо лагуни. Такі міксери жорстко закріплюють на бетонній чи металевій основі.

Основні недоліки стаціонарних міксерів:

- відсутність мобільності (перенесення на іншу лагуну потребує значних витрат часу й коштів);
- обмежена зона обслуговування однієї установки.



Рисунок 1.2 - Міксер



Рисунок 1.3 - Стационарний занурювальний міксер

За потужністю стаціонарні міксери здатні ефективно перемішувати приблизно 5000–7000 м<sup>3</sup> жижи, тому для лагуни великого об'єму потрібні щонайменше дві установки. Сумарні витрати електроенергії при безперервній роботі можуть досягати близько 20 кВт·год.

Пересувні занурювані електричні міксери (рисунок 1.4) є більш гнучким рішенням. На базі свинокомплексу «Кировский» була впроваджена пересувна установка такого типу. Вона складається зі станини, змонтованої на широких металевих полозках. Завдяки цьому міксер можна опускати на дно лагуни та переміщувати по її площі, не пошкоджуючи мембрану, якою встелені дно та стінки.

На станині закріплений електричний лопатевий міксер. Подача установки в лагуну здійснюється за допомогою причіпного пристрою довжиною близько

10 м від трактора. У процесі відкачування рідкого гною міксер поступово пересувають у глиб лагуни.



Рисунок 1.4 - Пересувний занурювальний міксер

Переваги такого рішення:

- простота виготовлення;
- невисока вартість;
- можливість обслуговувати декілька лагун однією або двома установками.

Практика показала, що двох подібних міксерів достатньо для ефективного перемішування лагун об'ємом до 15 000 м<sup>3</sup>.

Пропелерні мішалки з приводом від ВВП трактора (рисунок 1.5) конструктивно являють собою подовжену штангу (різної довжини), яка кріпиться до навісної системи трактора. У середині штанги розміщується вал, на кінці якого

встановлено пропелер. Вал через карданну передачу з'єднано з валом відбору потужності трактора.

Принцип роботи:

- мішалку агрегатують із трактором;
- трактор під'їжджає до лагуни, і штангу обережно заводять через обвалування в середину лагуни, змінюючи висоту навісної системи;
- на першій позиції мішалка працює близько 30 хвилин;
- далі, не змінюючи стоянку трактора, регулюють висоту занурення мішалки відносно дна;
- після відпрацювання циклу трактор переміщують уздовж борта на 10 м і повторюють процес.



Рисунок 1.5 - Пропелерна мішалка з приводом від ВВП трактора

Після того як трактор послідовно відпрацює всі заплановані точки і повернеться в початкове положення, вміст лагуни вважається гомогенізованим. Під час відкачування жижи для підтримання однорідності рекомендують організувати закільцьований рух потоку: трактор ставлять у кут лагуни і через кожні 4 години роботи переставляють по периметру проти годинникової стрілки.

Конструктивно такі мішалки можуть бути:

- відкидного типу – для роботи в обмежених просторах;
- з баштовою опорою – для перемішування через високі борти або з ємностей, розташованих вище рівня трактора;
- зі змінним положенням по вертикалі та горизонталі (рисунок 1.6) – що дає змогу, не переставляючи трактор, охоплювати значну частину площі лагуни.



Рисунок 1.6 - Штанга з міксером від ВВП трактора, що регулюється у вертикальній та горизонтальній площинах

Довжина штанги зазвичай становить від 6 до 22 м і добирається з урахуванням геометрії лагуни. Рекомендується забезпечити занурення міксера вглиб щонайменше до 1/3 від ширини «водного дзеркала» - саме за таких умов досягається найвища ефективність перемішування.

Для штанг довжиною понад 12 м застосовують додаткові гідравлічні опори на колесах, які дозволяють плавно опустити мішалку в жижу, не пошкодивши покриття лагуни.

У таких установках насос засмоктує рідину з лагуни й під високим тиском подає її назад через сопло. Потужний струмінь розбиває поверхневу корку гною та розмиває донні відкладення. Дальність дії струменя може досягати 15 м і залежить від продуктивності насоса.

Керування соплом, через яке подається під тиском рідина, здійснюється гідравлічно з кабіни трактора. Це дає змогу змінювати напрямок струменя як по горизонталі, так і по вертикалі, обробляючи різні зони лагуни.

Плаваючі міксери понтонного типу (рисунок 1.7) складаються з несучої рами, до якої кріпляться поплавки. Завдяки цьому установка вільно пересувається по поверхні води. На рамі змонтовано електродвигун із редуктором і пропелером на валу. Переміщення по лагуні здійснюють за допомогою тросів.



Рисунок 1.7 - Плаваюча мішалка-амфібія

В окремих виконаннях мішалка-амфібія має кілька сопел (наприклад сім), а сумарна продуктивність подачі рідини може сягати 630 л/с. Потужні струмені дають змогу руйнувати як поверхневу корку, так і донні нашарування на глибині до 6 м.

На відміну від звичайних плаваючих мішалок, амфібійний варіант здатний самостійно пересуватися по суші, спускатися в лагуну, працювати на воді й самостійно виїжджати назад. Керування здійснюється за допомогою радіопульту, що дозволяє одному оператору керувати всіма рухами агрегату. Основні недоліки таких систем:

- висока вартість;
- виконання лише однієї функції - перемішування без перекачування жижи з лагуни.



Рисунок 1.8 - Геомембрана (геоплівка) в лагуні

Для гомогенізації та зберігання рідких органічних добрив, отриманих після поділу гнойових стоків на фракції та відповідної обробки, передбачають будівництво спеціальних гноєхранилищ – лагун.

Рідка фракція спочатку надходить по трубопроводу в карантинний резервуар робочим об'ємом близько 35 м<sup>3</sup>. Це залізобетонна ємність зі встановленим усередині пристроєм для опускання занурювального фекального насоса. Насос перекачує рідку фракцію в основний резервуар-накопичувач у ґрунті, дно та стінки якого вистелені спеціальною посиленою двошаровою геомембраною, що запобігає проникненню стоків у ґрунт.

Для підвищення ефективності приготування рідких органічних добрив у лагунах застосовують різні типи міксерів, перемішувальних пристроїв та спеціальних фекальних насосів (рисунки 1.9, 1.10).



Рисунок 1.9 - Міксер для гною (Китай)

Якщо під'їзд техніки до лагуни ускладнений або неможливий, доцільно використовувати понтон-аэратор (рисунок 1.11).



Рисунок 1.10 - Механічний перемішувальний пристрій



Рисунок 1.11 - Плаваючий понтон-аэратор

Таке обладнання одночасно виконує дві функції:

- інтенсивне перемішування гнойової жижи;
- аерацію (насичення киснем), що прискорює підготовку добрива до внесення в ґрунт.

Подавання повітря безпосередньо до пропелера підвищує ефективність насичення суміші киснем у 7–10 разів порівняно зі стаціонарними рішеннями. Для полегшення спуску й підйому понтон оснащують колесами; за відсутності під'їздів може застосовуватися навісний підйомник. На відміну від берегових мішалок, понтон легко перемістити в будь-яку точку лагуни.

Плаваючі лагунні мішалки-агітатори та понтони (рисунки 1.12, 1.13, 1.14) призначені для перемішування донних осадів і плаваючої корки у великих гоєсховищах. Насос CORNELL засмоктує жижу з лагуни й подає її через спеціальні сопла вниз, піднімаючи твердий осад з дна та інтенсивно перемішуючи його з основною масою.



Рисунок 1.12 – Плаваюча лагунна мішалка PCE



Рисунок 1.13 – Плаваюча лагунна мішалка PSE в роботі



Рисунок 1.14 – Напрямки струменів у плаваючій лагунній мішалці PSE

Додаткове горизонтальне сопло розбиває й розмиває плаваючі скупчення твердої фракції та застарілі корки на поверхні.

Плаваючий перемішувальний понтон HYDRO F4 (рисунки 1.15, 1.16) також призначений для інтенсивного перемішування донних осадів і плаваючих корок у лагунах.



Рисунок 1.15 – Плаваючий перемішувальний понтон HYDRO F4



Рисунок 1.16 – Плаваючий перемішувальний понтон HYDRO F4 в роботі

Перемішування здійснюється чотирма пропелерами великого діаметра (приблизно 430 мм), що створюють потужні циркуляційні потоки.

Плаваючі мішалки NUHN (рисунок 1.17, 1.18, 1.19) призначені для роботи у великих сховищах і відзначаються високою маневреністю.



Рисунок 1.17 – Плаваюча мішалка NUHN



Рисунок 1.18 – Плаваюча мішалка NUHN в роботі

Перемішування здійснюється спрямованими струменями рідини із сопел. Для переміщення амфібії не потрібні додаткові пристрої: кожне колесо має незалежний привід (4WD), що дозволяє агрегату самостійно заїжджати в лагуну, пересуватися по дну або берегу та виїжджати назад.



Рисунок 1.19 – Робота сопла плаваючої мішалки NUHN

У цілому зазначені технічні засоби утворюють гнучку систему гомогенізації й транспортування рідких органічних добрив, що дає змогу адаптувати технологію до розмірів господарства, геометрії лагун, наявності техніки та економічних можливостей підприємства.

#### **1.4 Висновки по розділу**

Інтенсифікація виробництва продукції тваринництва сприяла широкому впровадженню комплексів із безпідстилковою технологією утримання тварин. Такий підхід, попри очевидні переваги в механізації та автоматизації процесів, призвів до виникнення серйозної проблеми – переробки великих мас гнойових стоків. У непереробленому вигляді ці стоки становлять значну загрозу для санітарного стану територій тваринницьких комплексів, оскільки містять велику кількість небезпечних бактерій, яєць гельмінтів та насіння бур'янів. Крім того, через значні обсяги рідкого гною ускладнюється його тривале зберігання до моменту, коли він може бути використаний як повноцінне органічне добриво.

Одним із найбільш раціональних шляхів утилізації є попереднє розділення гнойових стоків на фракції з подальшим окремим використанням твердої

та рідкої частин як органічних добрив. Це дозволяє зменшити навантаження на системи зберігання, оптимізувати логістику внесення добрив і підвищити їх агрономічну ефективність.

У зв'язку з цим постає задача створення ефективної системи переробки та перекачування рідкого гною (рідких органічних добрив), що надходять із тваринницьких ферм і комплексів для внесення на поля, – з урахуванням як необхідної продуктивності, так і економічної доцільності її впровадження та експлуатації.

Мета дослідження – підвищення ефективності процесів гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз існуючих технічних засобів для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ і на цій основі обґрунтувати вибір перспективної конструкції насосної установки.

2. Теоретично описати процеси гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ та обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри розроблюваного насоса-понтону.

3. Провести експериментальні дослідження з перевірки висунутих теоретичних положень щодо обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ.

4. Здійснити економічну оцінку ефективності використання розробленого зразка насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА-ПОНТОНУ

### 2.1 Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічної схеми насоса-понтону

Огляд та аналіз існуючих конструктивно-технологічних рішень дозволили обґрунтувати вибір найбільш доцільної схеми насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун. На основі проведених досліджень запропоновано кілька варіантів конструкцій, що відрізняються елементами опори, стабілізації та будовою приймальної камери.

Розроблена корисна модель являє собою насос-понтон для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун (рисунок 2.1).

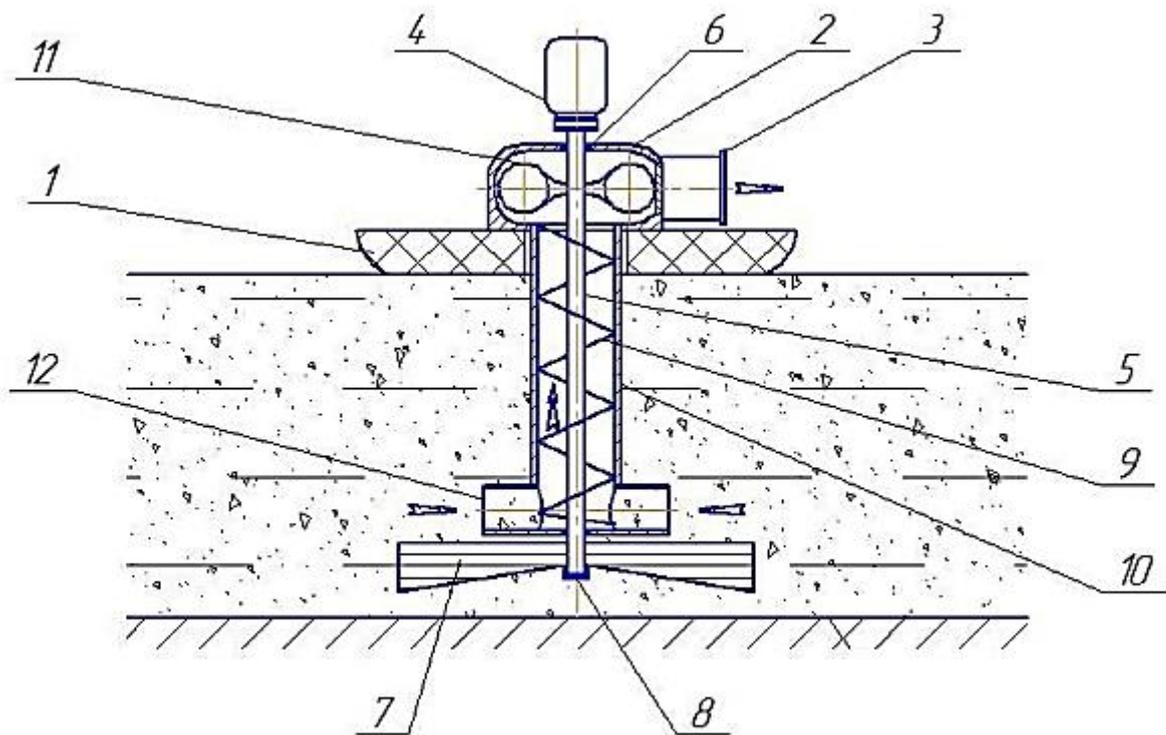


Рисунок 2.1 – Насос-понтон для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун

Насос-понтон складається з понтона 1, на якому розміщено нагнітальну камеру 2 з патрубком 3, та механізму приводу 4. Привід з'єднаний із вертикальним валом 5, встановленим у підшипникових опорах 6. На валу 5 по висоті послідовно розташовано:

- подрібнювально-перемішувальний робочий орган 7, закріплений контргайкою 8;
- транспортуючий шнек 9, розміщений у кожусі 10;
- лопатки 11 у зоні нагнітальної камери.

Нижня частина кожуха 10 з'єднана з приймальною камерою 12, через яку рідина надходить у робочу зону.

Принцип роботи. Робочу частину насоса закріплюють на понтоні 1 та занурюють у лагуну тваринницького комплексу. Рідке органічне добриво спочатку потрапляє в зону дії подрібнювально-перемішувального робочого органа 7, де відбувається гомогенізація: руйнування грудок, перемішування донного осаду з рідкою фазою.

Після цього усереднена маса через приймальну камеру 12 засмоктується в зону транспортуючого шнека 9 та по порожнині, обмеженій кожухом 10, подається в нагнітальну камеру 2. Тут потік захоплюється лопатками 11 і під тиском виводиться з насоса-понтону через патрубок 3.

Завдяки раціональній формі подрібнювально-перемішувального робочого органа та наявності лопаток у нагнітальній камері підвищуються ефективність гомогенізації та продуктивність перекачування рідких органічних добрив із лагун.

Подальший розвиток схеми передбачає оснащення насоса-понтону донною плитою (рисунок 2.2), що забезпечує фіксацію робочої частини по глибині та підвищує стійкість конструкції.

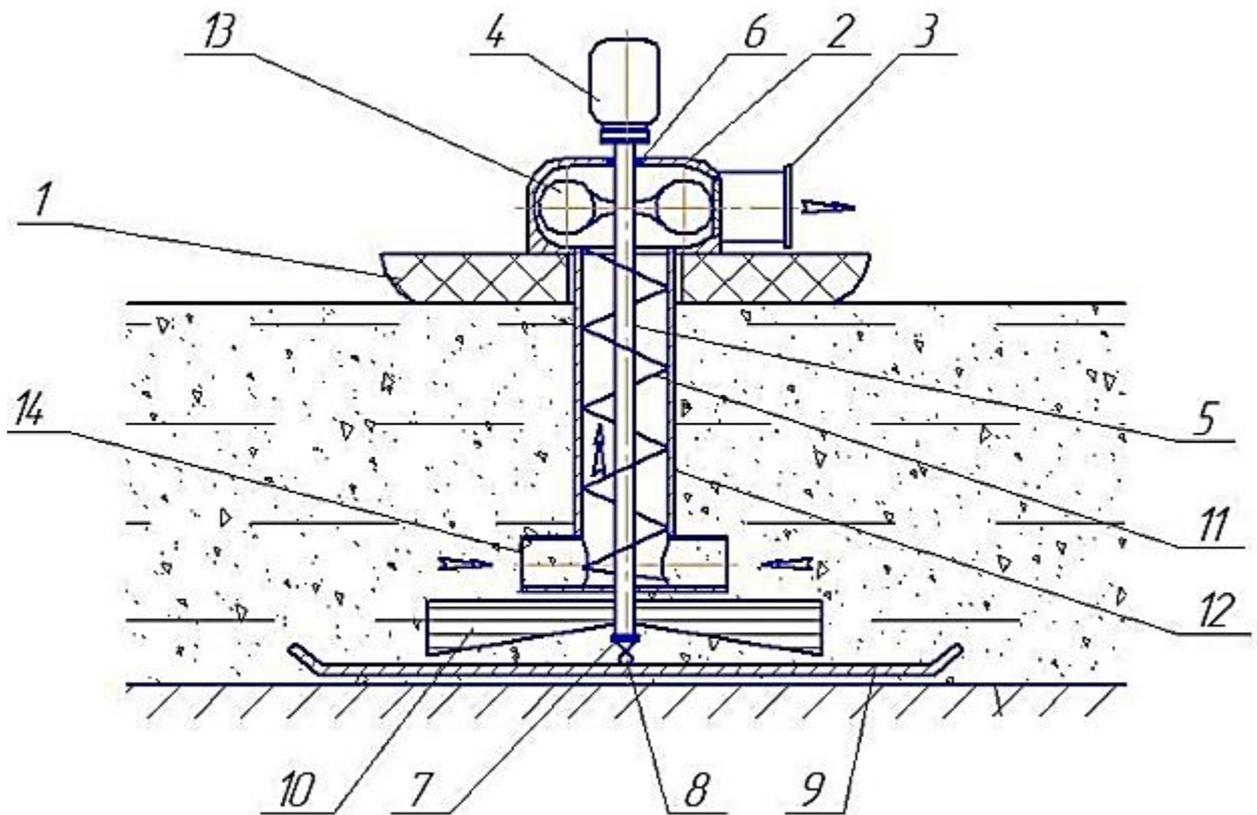


Рисунок 2.2 – Насос-понтон із донною плитою

Конструкція містить понтон 1 з нагнітальною камерою 2 і патрубком 3, механізм приводу 4, який з'єднано з валом 5, установленим у підшипниках 6 і 7. Нижній вільний кінець вала 5 через шарнір 8 закріплений на донній плиті 9. На валу 5 змонтовано подрібнювально-перемішувальний робочий орган 10, транспортуючий шнек 11 у кожусі 12 та лопатки 13 в зоні нагнітальної камери. Нижня частина кожуха 12 приєднана до приймальної камери 14.

Принцип роботи. Насос-понтон занурюють у лагуну, а через донну плиту 9 фіксують його положення по глибині. Рідке органічне добриво в зоні дії робочого органа 10 спочатку гомогенізується, потім усереднена маса засмоктується через приймальну камеру 14 до шнека 11, по кожуху 12 подається в нагнітальну камеру 2, де захоплюється лопатками 13 і виводиться через патрубок 3.

Наявність донної плити, з'єднаної зі шарніром, дозволяє стабільно утримувати робочий вузол у заданому положенні, що підвищує ефективність та надійність процесів гомогенізації й перекачування.

Наступний варіант конструкції - насос-понтон зі стабілізатором вертикальної стійкості (рисунок 2.3).

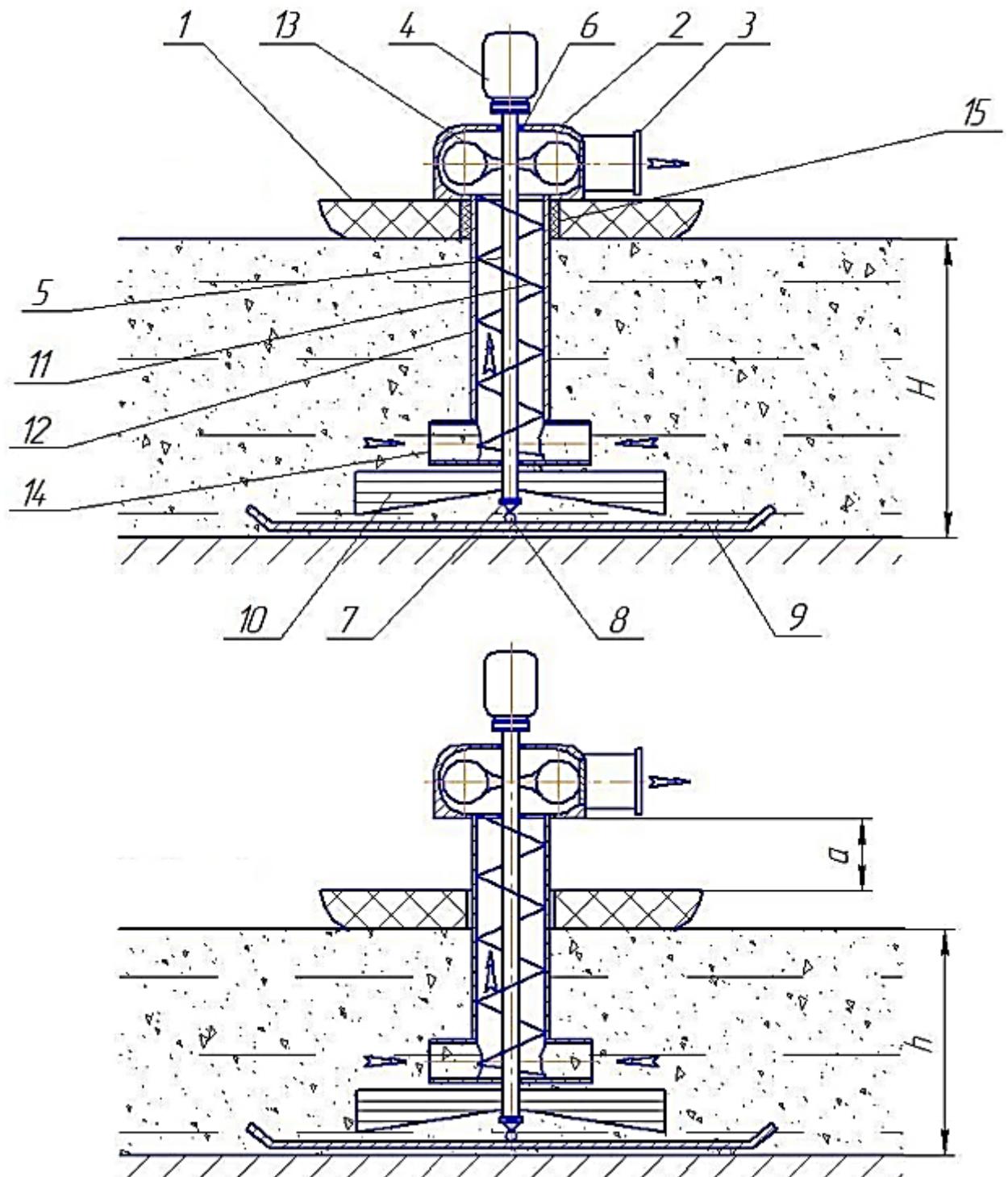


Рисунок 2.3 – Насос-понтон зі стабілізатором вертикальної стійкості

Насос-понтон містить понтон 1 з нагнітальною камерою 2 і патрубком 3, механізм приводу 4, з'єднаний із валом 5, установленим у підшипниках 6 і 7. Нижній кінець вала 5 через шарнір 8 закріплено на донній плиті 9. На валу 5 розміщено подрібнювально-перемішувальний робочий орган 10, транспортуючий шнек 11 у кожусі 12 та лопатки 13.

Нижня частина кожуха 12 з'єднана з приймальною камерою 14, а верхня частина кожуха 12 вільно насаджена на стабілізатор 15 вертикальної стійкості. Торцеві поверхні приймальної камери 14 виконані під кутом  $45^\circ$  до горизонтальної площини, в якій обертаються лопаті робочого органа 10.

Принцип роботи. Після занурення та фіксації по глибині (через донну плиту 9) подрібнювально-перемішувальний орган 10 гомогенізує рідке добриво, далі усереднена маса через приймальну камеру 14 надходить у зону шнека 11, по кожуху 12 переміщується в нагнітальну камеру 2 й викидається через патрубок 3.

Стабілізатор 15 забезпечує вертикальне положення шнека 11 в кожусі 12, зменшуючи коливання та перекося. Збільшена площа поперечного перерізу приймальної камери 14 та її похилі торці сприяють кращому підсмоктуванню маси й зниженню гідравлічних втрат, що в цілому підвищує ефективність гомогенізації та перекачування.

Ще один варіант - насос-понтон із модернізованою приймальною камерою та хрестоподібною донною опорою (рисунок 2.4).

Конструкція включає понтон 1 з нагнітальною камерою 2 і патрубком 3, механізм приводу 4, вал 5, який обертається в підшипниках 6 і 7. Нижній кінець вала 5 через шарнір 8 закріплений на хрестоподібній донній опорі 9. На валу 5 розміщено подрібнювально-перемішувальний робочий орган 10, транспортуючий шнек 11 у кожусі 12 та лопатки 13. Нижня частина кожуха 12 з'єднана з приймальною камерою 14, верхня - вільно насаджена на стабілізатор 15 вертикальної стійкості.

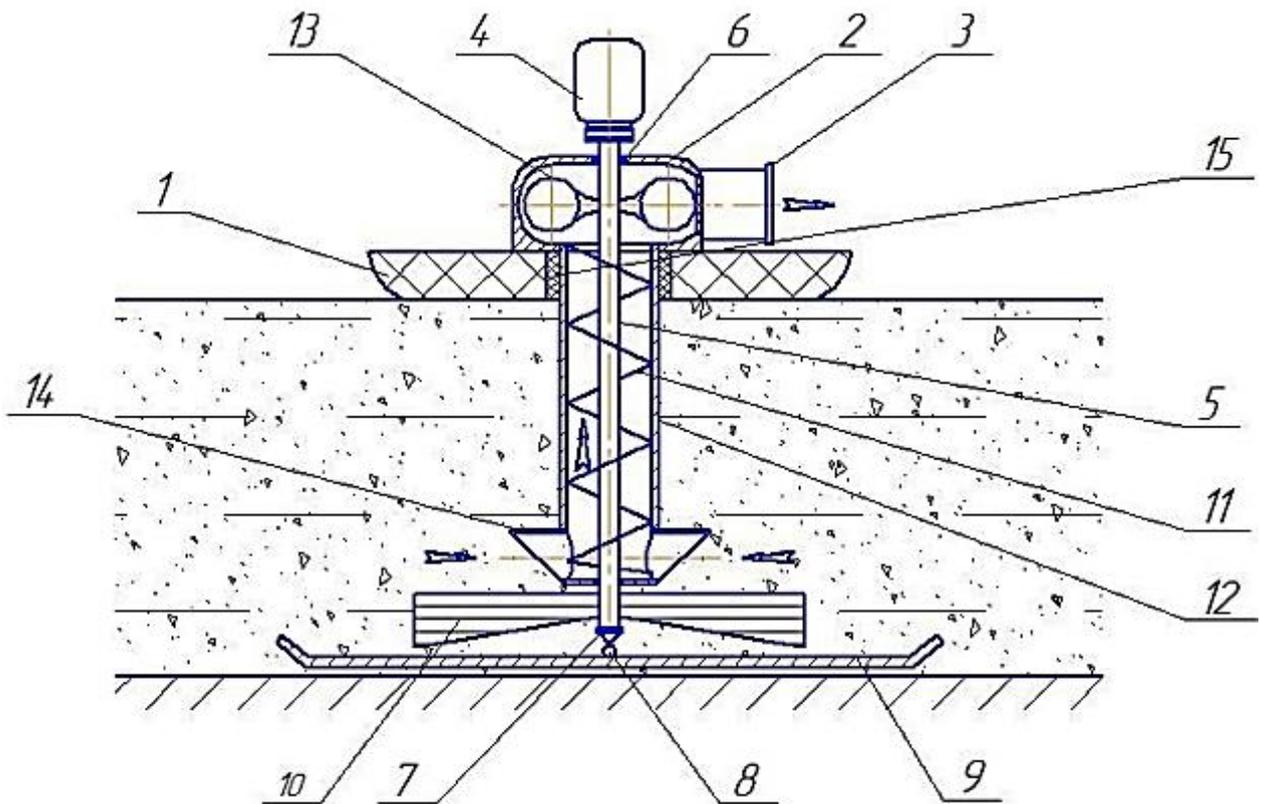


Рисунок 2.4 – Насос-понтон із модернізованою приймальною камерою

Принцип роботи. Робочу частину насоса занурюють у лагуну; через хрестоподібну опору 9 агрегат надійно фіксується по глибині. Рідке добриво спочатку гомогенізується робочим органом 10, далі усереднена маса надходить через приймальну камеру 14 у зону шнека 11, по кожуху 12 транспортується в нагнітальну камеру 2 та виштовхується лопатками 13 через патрубок 3.

Вертикальна стійкість шнека 11 забезпечується стабілізатором 15.

Перевага хрестоподібної донної опори полягає в збільшеній площі контакту з дном лагуни, що дозволяє:

краще «відпрацьовувати» всю товщу донного осаду;

ефективніше перемішувати та подрібнювати тверді включення;

зменшити перекося й вібрації при роботі на нерівній поверхні дна.

Це комплексно підвищує ефективність гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив.

Окремий варіант конструкції - штанговий насос-понтон для подрібнення й перекачування рідких органічних добрив (рисунок 2.5).

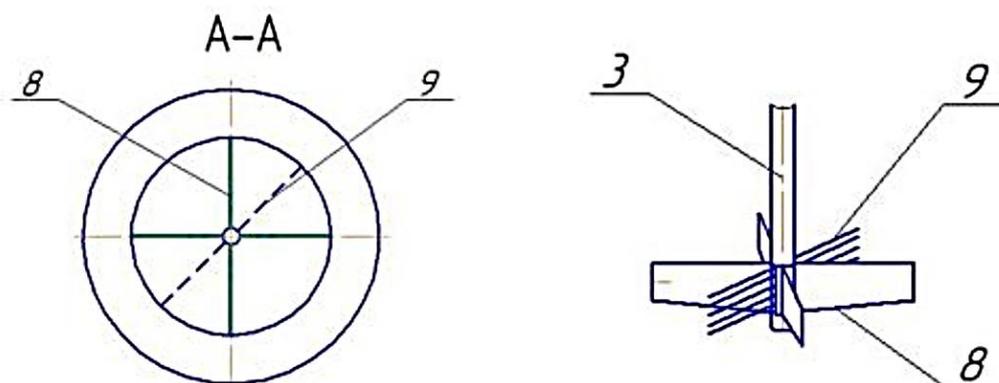
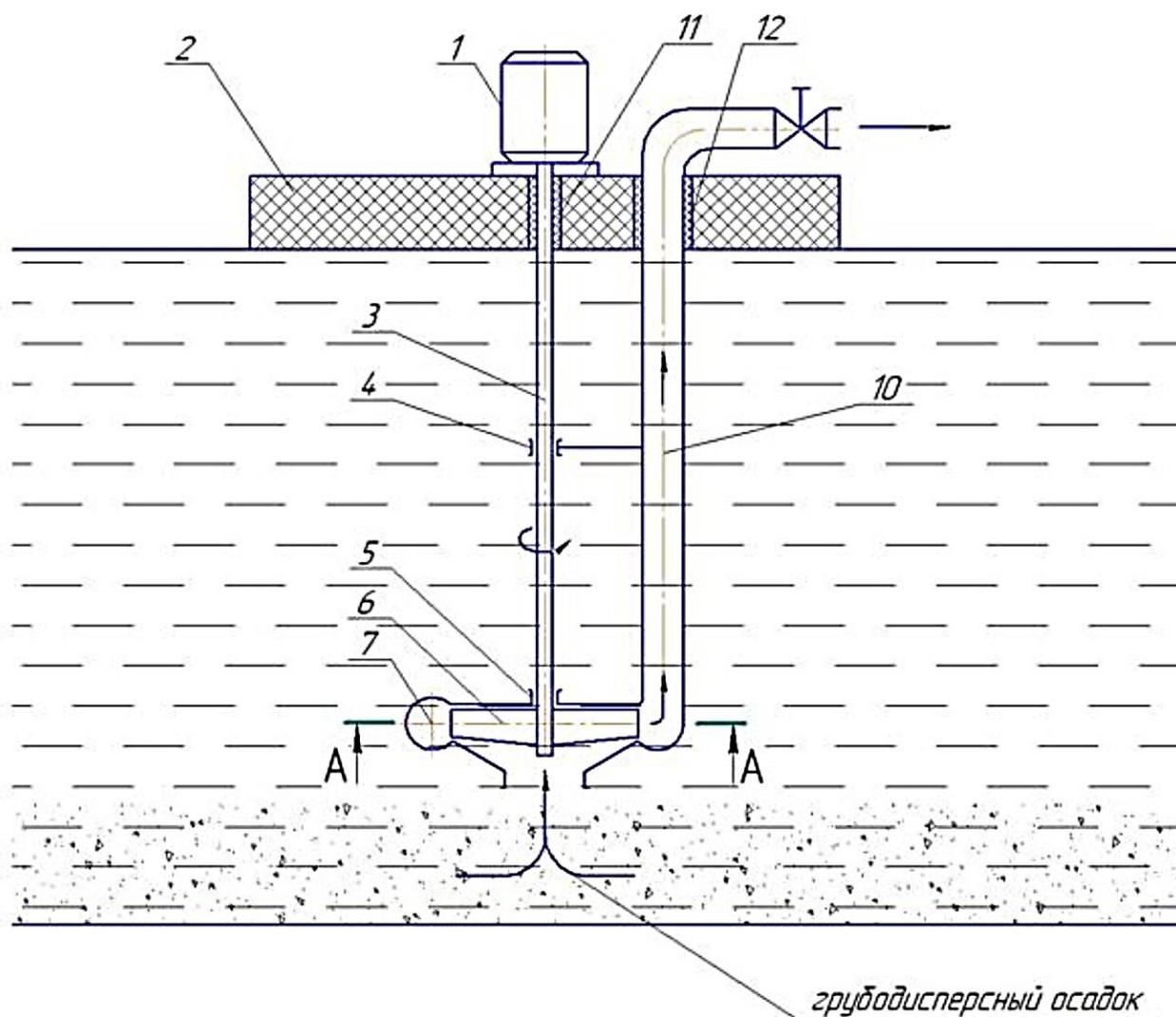


Рисунок 2.5 – Штанговий насос-понтон

У цій схемі механізм приводу 1 розміщено на понтоні 2 і з'єднано з вертикальним валом 3, вертикальне положення якого забезпечує підшипник 4. На кінці вала 3 через підшипниковий вузол 5 закріплено робочий орган 6, розташований у приймальній камері 7. Робочий орган 6 містить жорстко закріплені на валу нагнітальні лопатки 8 та лопатки-диспергатори 9. Приймальна камера 7 з'єднана з напірною трубою 10. Положення вала 3 і напірної труби 10 фіксуються втулками 11 і 12.

Принцип роботи. Після занурення робочої частини насоса в лагуну механізм приводу 1 обертає вертикальний вал 3. Обертання через підшипниковий вузол 5 передається робочому органу 6, який обмежений приймальною камерою 7.

Грубодисперсний осад із лагуни засмоктується нагнітальними лопатками 8 у приймальну камеру 7, де одночасно подрібнюється лопатками-диспергаторами 9. Після цього суміш надходить у напірну трубу 10 і по ній транспортується в магістраль подачі на поля зрошення як рідке органічне добриво. Вертикальність вала 3 та напірної труби 10 забезпечують втулки 11 і 12.

Завдяки поєднанню нагнітальних лопаток і лопаток-диспергаторів у складі одного робочого органа значно підвищується ефективність подрібнення та перекачування грубодисперсної маси рідких органічних добрив із лагун-гоєсховищ тваринницьких комплексів.

## **2.2 Обґрунтування технологічних параметрів процесу перекачування рідких органічних добрив насосом-понтонем**

Основним робочим органом шнекових водопідіймачів є гвинтовий шнек - вал, на який навита спіраль. Зазвичай застосовують тризаходну спіраль, що забезпечує рівномірну подачу рідини та рівномірність шнека при будь-якому куті повороту. Окружна швидкість шнека зазвичай становить 2...5 м/с, що відповідає частоті обертання приблизно 20...100 хв<sup>-1</sup> залежно від діаметра шнека.

Для отримання такої частоти обертання приводний електродвигун з'єднують із валом шнека через редуктор.

Подача серійно виготовлюваних шнекових насосів, які застосовуються за кордоном, коливається в межах від 15 до 5000 л/с при висоті підйому 6...7 м. Середній коефіцієнт корисної дії таких насосів становить близько 0,70...0,75 і залишається майже незмінним у широкому діапазоні зміни подачі. Шнекові насоси можуть бути досить ефективними при перекачуванні стічних вод та осадів на порівняно невелику висоту (5...8 м).

Розроблена схема насоса-понтону для подрібнення, перемішування та перекачування рідких органічних добрив із лагуни-гноєсховища (рисунок 2.6) складається з трьох основних етапів:

- Етап I - подрібнення та перемішування в дисмембраторі.
- Етап II - перекачування та транспортування шнековою частиною насоса до нагнітальної камери.
- Етап III - подача в напірну магістраль лопатевою частиною насоса-понтону.

Визначальну роль у роботі розробленої конструкції відіграє саме другий етап, оскільки саме шнекова частина формує напірну та витратну характеристики всієї насосної установки. Для опису енергетичного стану потоку на вході й виході з насоса скористаємося рівнянням Бернуллі.

Повний напір (повна удільна енергія) потоку в перерізі 1–1 при вході в насосну установку визначається виразом:

$$H_{1-1} = Z_{1-1}g + \frac{P_{1-1}}{\rho} + \frac{v_{1-1}^2}{2}. \quad (2.1)$$

де  $H_{1-1}$  - повний напір потоку в перерізі 1–1;

$Z_{1-1}$  - геодезичний напір у перерізі 1–1, м;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$P_{1-1}$  - тиск у перерізі 1–1, Па;

$\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$v_{1-1}$  - швидкість руху рідини в перерізі 1–1, м/с.

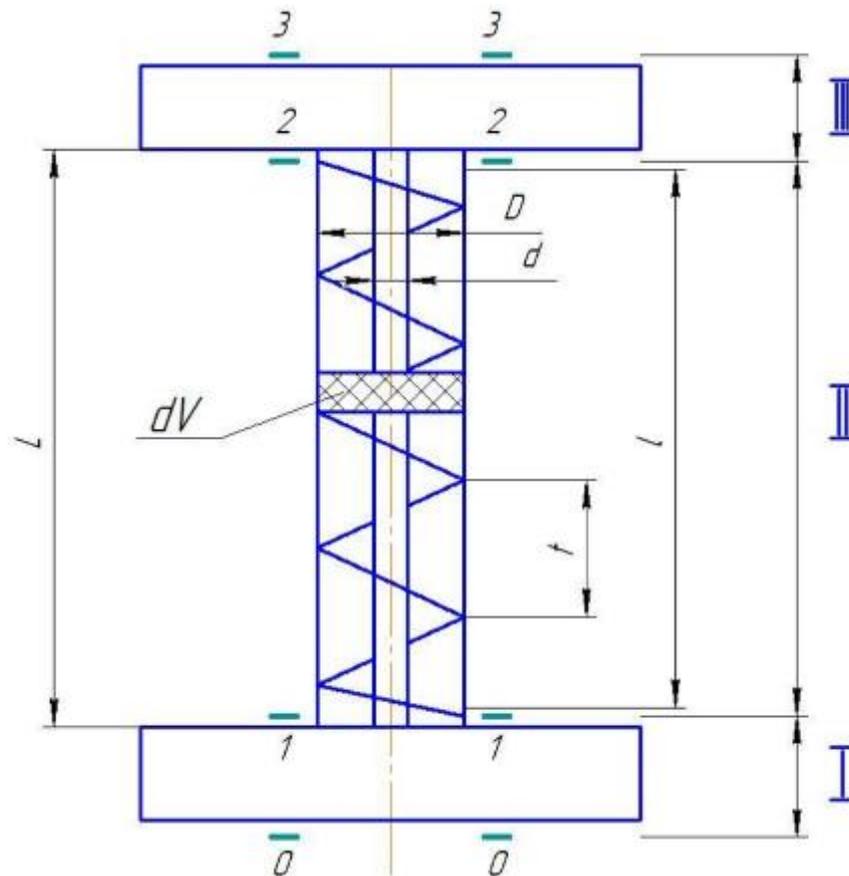


Рисунок 2.6 – Схема до розрахунку насоса-понтону

Повна питома енергія потоку в перерізі 2–2 на виході з насоса має вигляд:

$$E_{2-2} = Z_{2-2}g + P_{2-2} / \rho + v_{2-2}^2 / 2 + h_{w_{2-2}} \quad (2.2)$$

де  $E_{2-2}$  - повна питома енергія потоку в перерізі 2–2;

$Z_{2-2}$  - висота центра тяжіння перерізу 2–2, м;

$P_{2-2}$  - тиск у перерізі 2–2, Па;

$v_{2-2}$  - швидкість потоку в перерізі 2–2, м/с;

$hw_{2-2}$  - втрати напору на ділянці від перерізу 1–1 до перерізу 2–2, м.

Приріст питомої енергії потоку між перерізами 1–1 та 2–2, тобто напір насоса  $H$ , визначається різницею енергій:

$$H = (1/g)(E_{2-2} - E_{1-1}) = (Z_{2-2} - Z_{1-1}) + (P_{2-2} - P_{1-1}) / (\rho g) + (v_{2-2}^2 - v_{1-1}^2) / (2g) + hw_{2-2}. \quad (2.3)$$

Тут  $H$  - напір, який створює насос;

$Z_{1-1}$ ,  $Z_{2-2}$  - геодезичні напори у відповідних перерізах;

$P_{1-1}$ ,  $P_{2-2}$  - тиск у перерізах 1–1 та 2–2;

$v_{1-1}$ ,  $v_{2-2}$  - швидкості потоку;

$g$  - прискорення вільного падіння;

$\rho$  - густина перекачуваної маси;

$hw_{2-2}$  - втрати напору на ділянці руху потоку.

Втрати напору за довжиною ділянки від перерізу 1–1 до перерізу 2–2 можна подати у вигляді:

$$hw = \rho(l/D)(v_{2-2}^2 / (2g)) \quad (2.4)$$

де  $hw$  - втрати напору за довжиною, м;

$\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного опору;

$l$  - довжина ділянки між перерізами 1–1 та 2–2, м;

$D$  - діаметр транспортуючого шнека або трубопроводу, м;

$v_{2-2}$  - швидкість рідини в перерізі 2–2, м/с;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

В еквівалентній формі втрати напору можна записати як втрати тиску  $\Delta P$ :

$$\Delta P = \lambda(l/D)(\rho v_{2-2}^2 / 2). \quad (2.5)$$

де  $\Delta P$  - втрати тиску на ділянці від перерізу 1-1 до 2-2, Па;  
інші позначення відповідають попереднім формулам.

З урахуванням втрат напору, напір, який створюється транспортуючим шнеком, можна записати так:

$$H = (Z_{2-2} - Z_{1-1}) + (P_{2-2} - P_{1-1}) / (\rho g) + (v_{2-2}^2 - v_{1-1}^2) / (2g) + \lambda(l/D)(v_{2-2}^2 / (2g)) \quad (2.6)$$

Витрата (подача) транспортуючої частини насоса визначається за загальним співвідношенням між витратою, швидкістю потоку та площею живого перерізу:

$$Q = v S. \quad (2.7)$$

де  $Q$  - витрата (подача), м<sup>3</sup>/с;

$v$  - середня швидкість потоку, м/с;

$S$  - робоча площа поперечного перерізу шнека, м<sup>2</sup>.

Площа кільцевого перерізу між кожухом та валом шнека визначається як:

$$S = (\pi / 4)(D^2 - d^2). \quad (2.8)$$

де  $D$  - діаметр шнека (кожуха), м;

$d$  - діаметр вала шнека, м.

Рух рідини між перерізами 1-1 та 2-2 у транспортуючому шнеку можна описати рівнянням Бернуллі з урахуванням втрат напору:

$$Z_{1-1} + P_{1-1} / (\rho g) + v_{1-1}^2 / (2g) = Z_{2-2} + P_{2-2} / (\rho g) + v_{2-2}^2 / (2g) + \lambda(l/D)(v_{2-2}^2 / (2g)) \quad (2.9)$$

Розв'язавши це рівняння відносно швидкості  $v_{2-2}$ , одержуємо:

$$v_{2-2} = \sqrt{ \frac{ [ (Z_{1-1} - Z_{2-2}) + (P_{1-1} - P_{2-2}) / (\rho g) ] }{ 2g / [1 + \lambda (l/D)] } } \quad (2.10)$$

Підставляючи цей вираз у формулу для витрати, отримаємо узагальнений вираз для подачі насоса-понтону:

$$Q = (\pi / 4)(D^2 - d^2) \sqrt{[(Z_1 - 1 - Z_2 - 2) + (P_1 - 1 - P_2 - 2) / (\rho g)] 2g / [1 + \lambda(l / D)]} \quad (2.11)$$

Отримані співвідношення дозволяють визначити витратну та напірну характеристики насоса-понтону залежно від геометричних параметрів шнека, режиму його роботи та гідравлічних умов руху рідких органічних добрив у лагуні-гноєсховищі.

### 2.3 Обґрунтування параметрів транспортуючого шнека

Профіль лопатки шнека виконують у вигляді прямої або вигнутої пластини із загостреними вхідною та вихідною крайками. Довжина загострення зазвичай становить 35...50 % від діаметра шнека. Товщину лопатки намагаються приймати мінімальною, щоб збільшити прохідний живий переріз і зменшити гідравлічні втрати.

Для аналізу руху частинки рідких органічних добрив у шнековій частині насоса розглянемо дію сил у системі координат, пов'язаній із шнеком (рисунки 2.7 і 2.8). На частинку діють: власна вага  $G$ ; центростворююча сила  $N_k$ , що відображає тиск стінки кожуха на частинку; сила нормальної реакції  $N_1$  з боку поверхні витка шнека; сили тертя  $f_1 N_1$  та  $f_2 N_2$  на поверхні витка та стінки кожуха відповідно.

Матеріальна точка перебуває одночасно в трьох видах руху: відносному - вздовж витка шнека; переносному - разом із витком; та абсолютному - по просторовій гвинтовій траєкторії вздовж внутрішньої поверхні кожуха. Кутів швидкості для цих видів руху позначимо, відповідно, як  $\omega_1$ ,  $\omega_0$  та  $(\omega_0 - \omega_1)$ .

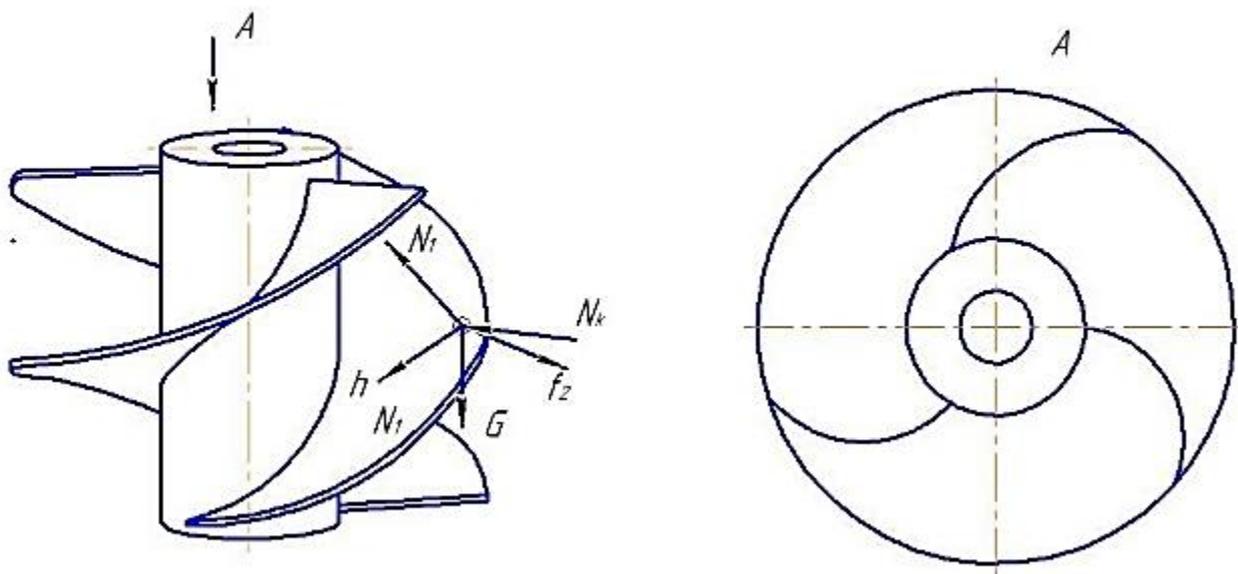


Рисунок 2.7 – Аналіз сил, що діють на частинку в шнековій частині

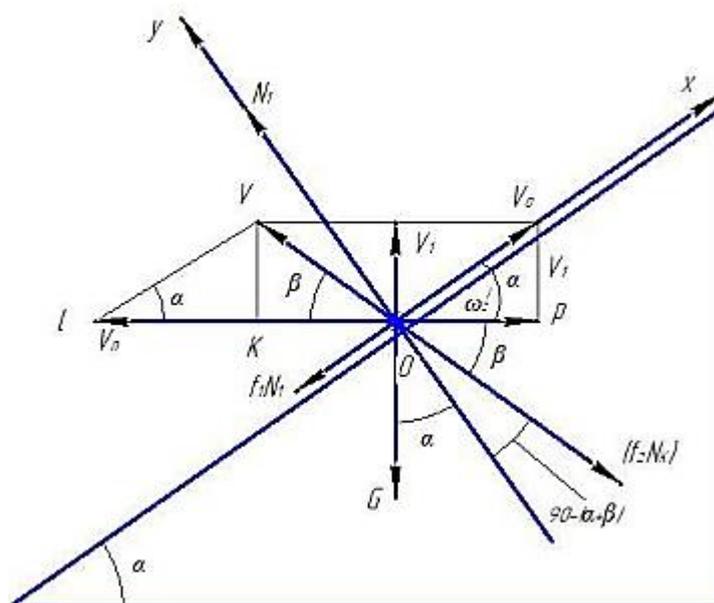


Рисунок 2.8 – Розгортка похилої площини у вертикальній шнековій частині

Осьова складова швидкості руху частинки вздовж витка шнека визначається виразом:

$$vl = \omega l r \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.12)$$

де  $v_1$  - осьова швидкість частинки, м/с;

$\omega_1$  - кутова швидкість обертання витка шнека,  $\text{с}^{-1}$ ;

$r$  - радіус траєкторії частинки, м;

$\alpha$  - кут підйому гвинтової лінії (нахил витка шнека).

Із умови рівноваги сил, що діють на частинку на поверхні витка, отримують співвідношення, яке зв'язує радіус руху  $r$ , кутові швидкості та коефіцієнти тертя:

$$\frac{r\omega_1^2}{g} = \frac{[f_1 \cos \alpha + \sin \alpha] \sqrt{\cos^2 \alpha + (\omega_1 / \omega_0)^2 - 2(\omega_1 / \omega_0) \cos^2 \alpha}}{(1 - \omega_1 / \omega_0)^2 f_2 [\cos^2 \alpha - (\omega_1 / \omega_0)^2 - f_1 \sin \alpha \cos \alpha]} \quad (2.13)$$

де  $\omega_0$  - кутова швидкість обертання кожуха (або ротора),  $\text{с}^{-1}$ ;

$f_1$  - коефіцієнт тертя частинки об виток шнека;

$f_2$  - коефіцієнт тертя частинки об стінку кожуха;

$g$  - прискорення вільного падіння.

Кут  $\beta$  між вектором абсолютної швидкості частинки та осьовим напрямком визначається через синус і косинус:

$$\sin \beta = \frac{(\omega_1 / \omega_0) \sin \alpha}{\sqrt{\cos^2 \alpha + (\omega_1 / \omega_0)^2 - 2(\omega_1 / \omega_0) \cos^2 \alpha}} \quad (2.14)$$

$$\cos \beta = \frac{(1 - \omega_1 / \omega_0) \cos \alpha}{\sqrt{\cos^2 \alpha + (\omega_1 / \omega_0)^2 - 2(\omega_1 / \omega_0) \cos^2 \alpha}} \quad (2.15)$$

Отримані співвідношення описують траєкторію руху частинок по поверхні витка шнека та стінці кожуха, а також дозволяють підібрати такі значення кутових швидкостей  $\omega_0$  і  $\omega_1$ , кута підйому  $\alpha$  та коефіцієнтів тертя  $f_1$ ,  $f_2$ , за яких забезпечується стійке транспортування рідких органічних добрив без зависання й утворення застійних зон.

## 2.4 Обґрунтування параметрів понтона

Понтон, на якому розміщується насосне обладнання, повинен мати достатній запас плавучості та непотоплюваності, щоб забезпечити надійну роботу насоса-понтона в умовах експлуатації. Конструкція понтона розраховується на плавучість при дії навантаження, яке щонайменше вдвічі перевищує його власну вагу разом із обладнанням, за заданої густини рідких органічних добрив у лагуні-гноєсховищі.

Запас плавучості характеризується коефіцієнтом, який повинен бути не меншим за 2,0. Його визначають за співвідношенням (2.16):

$$K_{зп} = b / T \geq 2,0. \quad (2.16)$$

де  $K_{зп}$  - коефіцієнт запасу плавучості понтона;

$b$  - висота зовнішнього борта понтона, м;

$T$  - максимальна глибина занурення понтона, м.

Глибину занурення понтона  $T$  визначають з умови рівноваги сил ваги та виштовхувальної сили, з урахуванням додаткових експлуатаційних навантажень. Розрахункова формула має вигляд (2.17):

$$T = (g_f \cdot G_{п} + F_{тр} + Q_{п}) / (\gamma_r \cdot V_{в}). \quad (2.17)$$

де  $g_f$  - коефіцієнт надійності за навантаженням від власної ваги понтона;

$G_{п}$  - вага понтона разом із розміщеним на ньому обладнанням, Н;

$F_{тр}$  - сила тертя ущільнювального затвора об стінку, Н;

$Q_{п}$  - додаткове навантаження від маси конденсату чи інших відкладень на поверхні понтона, Н;

$\gamma_r$  - питома вага (удільна вага) рідкого органічного добрива, Н/м<sup>3</sup> (у розрахунках часто приймають  $\gamma_r$  близько 0,7 т/м<sup>3</sup>);

$V_v$  - об'єм витісненої рідини, м<sup>3</sup>.

Непотоплюваність понтона розуміють як його здатність зберігати плавучість і необхідну остійність навіть у разі часткового затоплення окремих відсіків через їх розгерметизацію. Для цього елементи плавучості (поплавки, герметичні короби тощо) повинні мати достатній запас об'єму. Умова непотоплюваності записується у вигляді (2.18):

$$A = V_M / V_\phi \geq 1. \quad (2.18)$$

де  $A$  - коефіцієнт непотоплюваності понтона;

$V_M$  - теоретичний об'єм елементів плавучості понтона (поплавків, коробів та інших герметичних порожнин), м<sup>3</sup>;

$V_\phi$  - об'єм цих елементів плавучості, який може бути фактично заповнений рідиною або зберіганим продуктом у разі аварійного затоплення, м<sup>3</sup>.

Таким чином, дотримання умов щодо запасу плавучості  $K_{зп}$  та коефіцієнта непотоплюваності  $A$  дозволяє забезпечити надійну й безпечну експлуатацію насоса-понтону в умовах мінливого рівня рідких органічних добрив у лагунах-гноєсховищах.

## 2.5 Висновки по розділу

На основі огляду конструкцій запропоновано кілька варіантів насоса-понтону (з донною плитою, зі стабілізатором вертикальної стійкості, з модернізованою приймальною камерою, зі штанговим робочим органом), які забезпечують суміщення функцій подрібнення, гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив.

Теоретично обґрунтовано енергетичні та гідравлічні параметри процесу перекачування: на основі рівняння Бернуллі та залежностей для втрат напору

отримано вирази для напору, швидкості руху суміші в шнековій частині та подачі насоса-понтону з урахуванням геометричних параметрів шнека й гідравлічних опорів.

Розглянуто кінематику руху частинок у шнековій частині насоса-понтону, встановлено зв'язок між кутовими швидкостями шнека і кожуха, кутом підйому гвинтової лінії, силами тертя та траєкторією руху частинок, що дає змогу вибирати раціональні конструктивно-режимні параметри шнекового робочого органа.

Обґрунтовано основні вимоги до параметрів понтона (запас плавучості, непотоплюваність, глибина занурення), сформовано розрахункові співвідношення для визначення допустимого навантаження й геометричних розмірів елементів плавучості з метою забезпечення надійної й безпечної роботи насоса-понтону в умовах змінного рівня рідких органічних добрив у лагуні.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ

#### 3.1 Методика визначення раціональних геометричних і технологічних параметрів насоса-понтону

Для визначення раціональних геометричних і технологічних параметрів насоса-понтону в програмі досліджень було передбачено використання теорії багатофакторного планування експерименту. Це дало змогу одночасно врахувати вплив кількох конструктивно-режимних факторів і отримати аналітичну модель, придатну для оптимізації параметрів насоса.

Дослідження впливу параметрів транспортуючого шнека на напірно-витратні характеристики насоса-понтону проводилися в виробничих умовах.

На підставі попередніх експериментів з вивчення впливу геометричних і режимних параметрів шнека на напір та подачу були відібрані фактори, що мають найбільш істотний вплив. У якості змінних прийнято такі фактори:

$D$  – діаметр кожуха транспортуючого шнека, м;

$L$  – довжина транспортуючого шнека, м;

$n$  – частота обертання вала транспортуючого шнека, об/хв.

Серії дослідів реалізовувалися за симетричним некомпозиційним квазі- $D$ -оптимальним планом Песочинського. Як критерій оптимізації обрано напір насоса-понтону  $H$ , оскільки він визначає можливість подавання рідких органічних добрив у нагнітальну магістраль на задану висоту при необхідній витраті.

Для аналітичного опису впливу зазначених факторів на критерій оптимізації прийнято квадратичну модель рівняння регресії загального вигляду, параметр оптимізації  $y$  (у нашому випадку – напір  $H$ ) подається як сума: вільного члена  $b_0$ ; лінійних складових за кожним фактором  $b_i \cdot x_i$ ; квадратичних складових  $b_{ii} \cdot x_i^2$ ; попарних членів взаємодії факторів  $b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j$ .



Рисунок 3.1 – Насос-понтон у зборі

Тобто модель має вигляд:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3,$$

де:  $y$  – параметр оптимізації (напір насоса-понтону);

$b_0$  – вільний член, чисельно дорівнює значенню відгуку при всіх  $x_i = 0$  (тобто в центрі плану);

$b_i$  – оцінки коефіцієнтів регресії, що відповідають впливу  $i$ -го фактора;

$b_{ii}$  – коефіцієнти при квадратичних членах (враховують нелінійність впливу фактора);

$b_{ij}$  – коефіцієнти, що відображають взаємодію між  $i$ -м і  $j$ -м факторами;

$x_i$  – кодування факторів ( $i = 1, 2, 3$ ), отримане шляхом лінійного перетворення натуральних значень  $D, L, n$  у безрозмірні інтервали  $(-1; 0; +1)$ .

Такий підхід дозволяє на основі експериментальних даних визначити числові значення коефіцієнтів  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ii}$ ,  $b_{ij}$ , побудувати поверхні відгуку  $H(D, L, n)$  та надалі знайти раціональні (оптимальні) геометричні й технологічні параметри насоса-понтону, що забезпечують необхідний напір і витрату при мінімальних енерговитратах.

Загальний вигляд експериментального насоса-понтону приведено на рис. 3.1.

### **3.2 Результати визначення геометричних і технологічних параметрів насоса-понтону**

Оптимальне значення напору, який має створюватися насосом-понтонном у нагнітальній магістралі, становить близько  $H \approx 72$  м при продуктивності  $Q = 10$  м<sup>3</sup>/год.

Після підстановки в рівняння регресії в натуральному (розкодованому) вигляді відповідних значень основних факторів графічно будують поверхні відгуку.

Аналітична залежність зміни напору  $H$  від діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D$  та довжини транспортуючого шнека  $L$  за частоти обертання шнека  $n = 700$  об/хв має вигляд:

$$H(L; D) = 382,02 + 244,08 \cdot S^2 - 179,43 \cdot S + 478,4 \cdot D^2 - 733,76 \cdot D, \quad (3.1)$$

На рисунку 3.2 наведено поверхню відгуку  $H(L; D)$  за частоти обертання транспортуючого шнека  $n = 700$  об/хв.

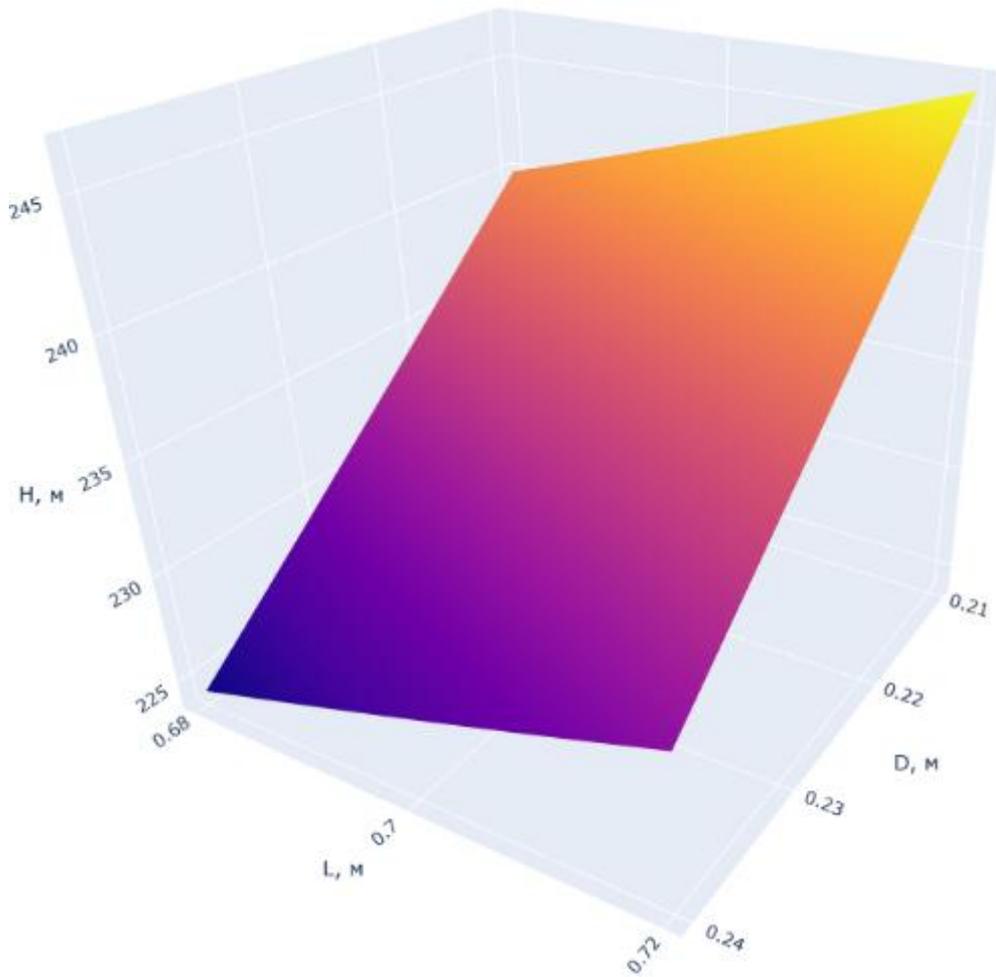


Рисунок 3.2 – Залежність зміни напору  $H$  від діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D$  та довжини транспортуючого шнека  $L$  за частоти обертання шнека насоса-понтону  $n = 700$  об/хв

Аналітична залежність зміни напору  $H$  від діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D$  та частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$  за сталої довжини транспортуючого шнека  $L = 0,7$  м (у тексті було  $0,25$  м, але на рисунку 52 фігурує  $0,7$  м) має вигляд:

$$H(n; D) = 627,33 + 0,000546 \cdot n^2 - 0,775 \cdot n + 478,4 \cdot D^2 - 733,76 \cdot D. \quad (3.2)$$

На рисунку 3.3 наведено поверхню відгуку  $H(n; D)$  для довжини транспортуючого шнека насоса-понтону  $L = 0,7$  м.

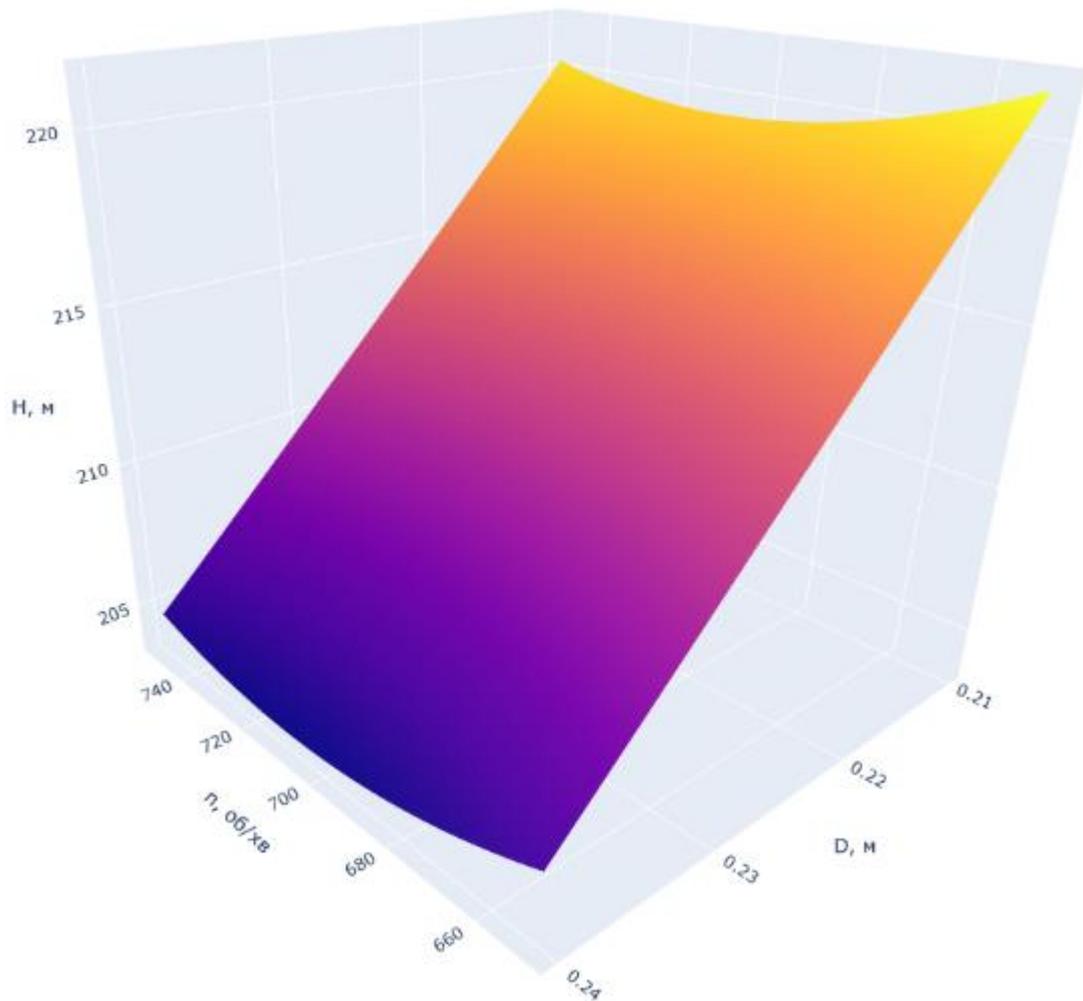


Рисунок 3.3 – Залежність зміни напору  $H$  від діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D$  та частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$  за довжини транспортуючого шнека насоса-понтону  $L = 0,7$  м

Аналітична залежність зміни напору  $H$  від частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$  та довжини транспортуючого шнека  $L$  за фіксованого діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D = 0,25$  м має вигляд:

$$H(n; L) = 377,72 + 0,000546 \cdot n^2 - 0,775 \cdot n + 244,08 \cdot S^2 - 179,43 \cdot S. \quad (3.3)$$

На рисунку 3.4 показано поверхню відгуку  $H(n; L)$  для діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D = 0,25$  м.

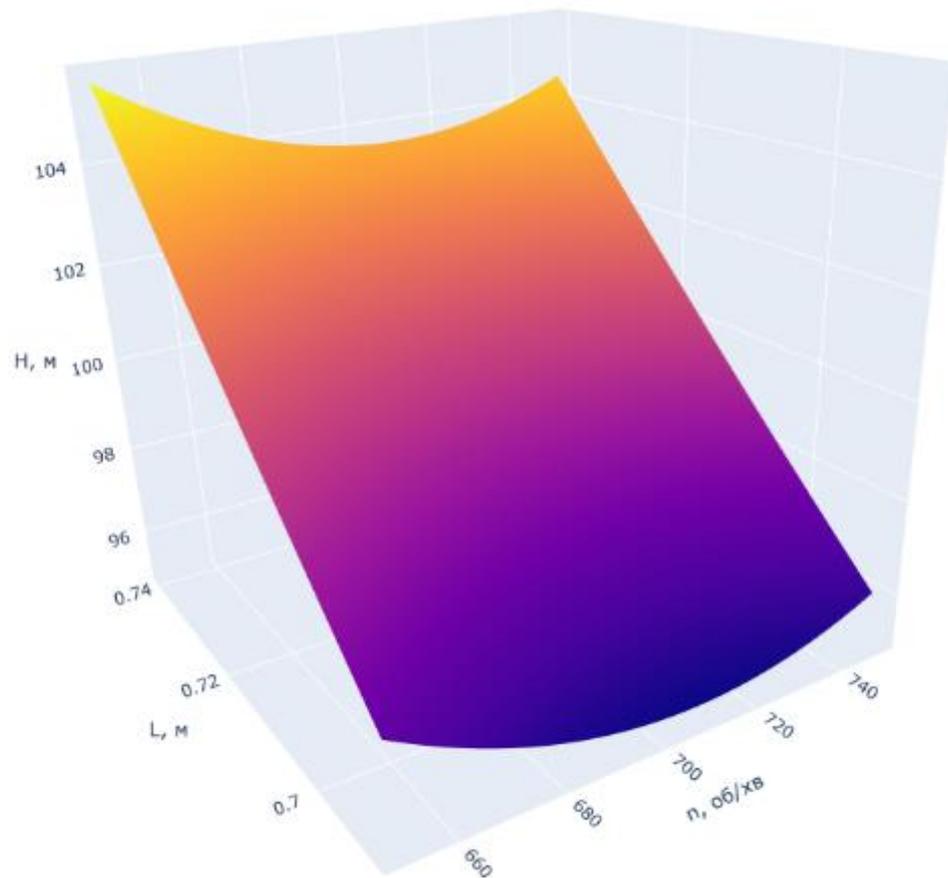


Рисунок 3.4 – Залежність зміни напору  $H$  від частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$  та довжини транспортуючого шнека насоса-понтону  $L$  за діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D = 0,25$  м

Аналіз поверхонь відгуку, що описують залежність напору  $H$  від діаметра кожуха транспортуючого шнека  $D$ , довжини транспортуючого шнека  $L$  та частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$ , дає змогу підібрати такі параметри, які забезпечать оптимальне значення напору в нагнітальній магістралі.

Для забезпечення заданої величини напору необхідно прийняти такі геометричні та технологічні параметри насоса-понтону:

- діаметр кожуха транспортуючого шнека:  $D = 0,21 \dots 0,24$  м;
- довжина транспортуючого шнека:  $L = 0,69 \dots 0,74$  м;
- частота обертання вала транспортуючого шнека:  $n = 670 \dots 730$  об/хв.

Обрані конструктивні параметри забезпечують ефективний перебіг процесу перекачування рідких органічних добрив із лагуни-гноєсховища із заданими значеннями напору та витрати.

### 3.3 Результати визначення напірно-витратної характеристики

У результаті проведених експериментальних та розрахункових досліджень отримані дані дали змогу побудувати узагальнену напірно-витратну характеристику запропонованої конструкції дослідного зразка насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив (рисунок 3.5).

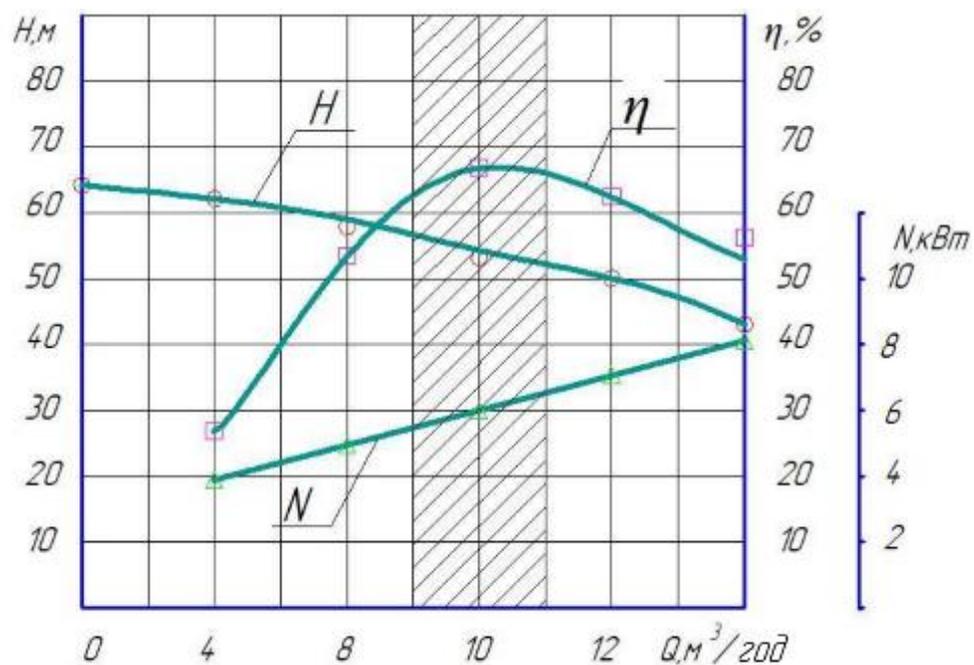


Рисунок 3.5 – Напірно-витратна характеристика запропонованої конструкції дослідного зразка насоса-понтону

Аналіз отриманої напірно-витратної характеристики дозволив визначити оптимальні експлуатаційні параметри роботи насоса-понтону:

- напір, який створюється насосом у магістралі:  $H = 5,2$  м;
- коефіцієнт корисної дії:  $\eta = 0,66$ ;

– потужність на привод насоса:  $N = 6,2$  кВт.

### 3.4 Висновки по розділу

Експериментальні дослідження підтвердили, що найбільший вплив на напір насоса-понтону мають діаметр кожуха транспортуючого шнека  $D$ , довжина шнека  $L$  та частота обертання  $n$ , що узгоджується з теоретичними передумовами.

На основі побудованих поверхонь відгуку  $H(L, D)$ ,  $H(n, D)$  та  $H(n, L)$  встановлено область раціональних параметрів, за яких забезпечується необхідний напір у нагнітальній магістралі  $H \approx 72$  м при продуктивності  $Q \approx 10$  м<sup>3</sup>/год.

Визначено оптимальні діапазони геометричних і режимних параметрів транспортуючого шнека:  $D \approx 0,21 \dots 0,24$  м;  $L \approx 0,69 \dots 0,74$  м;  $n \approx 670 \dots 730$  об/хв, що забезпечує стабільну роботу насоса-понтону без кавітаційних явищ і перегрузки привода.

Побудована напірно-видаткова характеристика дослідного зразка показала, що при раціональних параметрах насоса-понтону досягаються значення  $H \approx 5,2$  м,  $\eta \approx 0,66$ ,  $N \approx 6,2$  кВт, що свідчить про достатньо високу енергоефективність конструкції.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі на лагунах для зберігання та обробки рідкого гною**

Лагуни для зберігання та обробки рідкого гною належать до об'єктів підвищеної небезпеки через поєднання фізичних, хімічних, біологічних та техногенних факторів. Організація робіт на їх території повинна здійснюватися відповідно до чинних нормативних документів з охорони праці, промислової безпеки та виробничої санітарії. До роботи на лагунах допускаються працівники, які пройшли медичні огляди, вступний та цільовий інструктаж, навчання безпечним методам роботи та забезпечені необхідними засобами індивідуального захисту: спецодягом, гумовим взуттям, захисними рукавицями, окулярами або щитком, респіраторами, а за потреби – страхувальними поясами з прив'язю.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є небезпека падіння в лагуну з подальшим утопленням, виділення токсичних газів (метану, сірководню, аміаку, вуглекислого газу), можливість раптового руйнування дамб, бортів чи гідроізоляційної плівки, ризик травмування при роботі з насосно-понтонним та міксерним обладнанням, загроза ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції чи затоплення електрообладнання, а також біологічний вплив патогенних мікроорганізмів та яєць гельмінтів. Територія лагун повинна бути огорожена й оснащена попереджувальними знаками, а проїзди і проходи до місць обслуговування насоса-понтону – утримуватися в справному стані. Всі технологічні приямки, люки та колодязі мають бути закриті або огорожені; роботи в темний час доби допускаються лише за наявності достатнього освітлення. Забороняється виконувати роботи у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння, а також при поганому самопочутті.

Особливу увагу приділяють небезпеці газоутворення. Перед спуском працівника в заглиблені зони необхідно перевірити повітря газоаналізатором, за

потреби – організувати вентиляцію, застосовувати страхувальні пристрої та мати наглядча нагорі. На території лагун забороняється користуватися відкритим вогнем і палити, самовільно змінювати розташування обладнання, проводити ремонт електроустановок під напругою та на мокрих поверхнях без спеціальних засобів захисту.

#### **4.2 Оцінка небезпечних факторів з точки зору охорони праці при використанні розробленого насоса-понтону**

Розроблений насос-понтон працює безпосередньо в акваторії лагуни, тому його експлуатація пов'язана з дією комплексу небезпечних і шкідливих факторів. Найбільш суттєвим є вплив рухомих та обертових частин – вала, транспортуючого шнека, лопатевих і подрібнювальних елементів, які за відсутності огорожень можуть стати причиною захоплення одягу, травм кінцівок або затягування сторонніх предметів. З цією метою передбачають встановлення суцільних і сітчастих огорожень, блокування пуску при відкритих люках, а також категоричну заборону виконання очищення й ремонту при працюючому приводі.

Електробезпека є критично важливою, оскільки обладнання експлуатується в зоні підвищеної вологості. Електродвигуни та апаратура повинні мати відповідний ступінь захисту, металеві частини понтона – бути надійно заземлені, а живлення здійснюватися через захисні автомати та пристрої захисного відключення. Стан ізоляції кабелів і цілісність оболонок контролюються регулярно, експлуатація за наявності пошкоджень не допускається.

При роботі біля країв лагуни зберігається небезпека падіння у воду, особливо в умовах вітру, дощу, ожеледиці або забруднення поверхні. Тому робочі майданчики обладнують огороженнями, використовують запобіжні пояси зі страхувальними лініями, застосовують взуття з протиковзною підошвою, а по-

близу водного дзеркала розміщують рятувальні засоби. Інтенсивне перемішування гнойових мас насосом-понтонном може супроводжуватися підвищеним виділенням аміаку, сірководню, метану, що створює ризик отруєння. Для зниження ризику необхідно виконувати роботи за сприятливих метеоумов, організувати провітрювання, використовувати респіратори та прилади контролю загазованості і обмежувати час перебування у небезпечній зоні.

Біологічний фактор проявляється через можливість контакту з інфікованим середовищем. Персонал зобов'язаний працювати у відповідному спецодязі та рукавицях, дотримуватися правил особистої гігієни, не приймати їжу на робочому місці й обов'язково мити руки з дезінфікуючими засобами після завершення робіт. Шум і вібрація від роботи насоса-понтону, приводу та шнеків можуть досягати значень, що потребують застосування протишумових навушників та систематичного технічного обслуговування для зменшення вібраційних навантажень. Усі виявлені фактори повинні бути враховані в інструкціях з охорони праці для оператора насоса-понтону та у програмі навчання й перевірки знань персоналу.

#### **4.3 Охорона навколишнього середовища при роботі на лагунах для зберігання та обробки рідкого гною**

Функціонування лагун-гноєсховищ і насосно-понтонного обладнання істотно впливає на стан ґрунтів, поверхневих та підземних вод, а також атмосферного повітря. Екологічну небезпеку становлять фільтрація гноївки через дно та стінки споруди, можливий прорив або перелив лагуни, аварійні розливи при пошкодженні трубопроводів, викиди запахоутворюючих і токсичних газів, накопичення надлишку біогенних елементів і патогенних мікроорганізмів у навколишньому середовищі.

Для мінімізації цих ризиків конструкція лагун повинна передбачати надійну гідроізоляцію дна та стінок (геомембрани, ущільнені мінеральні шари),

регулярний контроль стану дамб і бортів та своєчасний ремонт дефектів. Рівень заповнення лагуни контролюють за допомогою стаціонарних рівнемірів з сигналізацією, ведеться облік надходження і відкачки рідких відходів, недопускаються переливи через край.

Використання рідких органічних добрив на полях повинно відповідати агрохімічним рекомендаціям і санітарним нормам. Дози внесення, строки і способи застосування добрив підбираються так, щоб не допускати надмірного накопичення нітратів, фосфатів та інших сполук у ґрунті та водоносних горизонтах. Необхідно витримувати санітарно-захисні зони до житлової забудови, джерел питної води, водойм. Перевага надається технологіям внесення з загортанням у ґрунт, що зменшує втрати азоту в атмосферу й знижує інтенсивність запахів.

Викиди газів і запахів з лагун можна зменшити завдяки раціональному режиму гомогенізації, застосуванню біопрепаратів, які прискорюють розкладання органічної речовини, та створенню захисних зелених насаджень навколо майданчика. Для локалізації можливих аварійних розливів на підприємстві мають бути запаси сорбентів, ґрунту, піску, розроблено план дій при аваріях із чітким розподілом обов'язків. Важливо здійснювати моніторинг якості ґрунтових і поверхневих вод, а також стану ґрунтів у зоні впливу лагуни; у разі виявлення перевищень нормативів потрібно коригувати режими роботи, покращувати гідроізоляцію та змінювати схеми внесення добрив. Використання насоса-понтону, який забезпечує повноцінну гомогенізацію та контрольовану перекачку, сприяє зменшенню ризику застійних зон, несанкціонованих переливів і нерівномірного внесення добрив, що позитивно впливає на екологічний стан довкілля.

#### **4.4 Висновки по розділу**

Робота на лагунах для зберігання та обробки рідкого гною є потенційно небезпечною і вимагає суворого дотримання вимог охорони праці, виробничої

санітарії та промислової безпеки. Розроблений насос-понтон створює додаткові ризики, пов'язані з дією рухомих механізмів, електрообладнання, можливістю падіння в лагуну, дією токсичних газів і біологічних факторів, однак за умови реалізації комплексу технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів ці ризики можуть бути зведені до прийняттого рівня.

Застосування екологічно обґрунтованих режимів зберігання, гомогенізації та внесення рідких органічних добрив, належної гідроізоляції та системи моніторингу довкілля забезпечує мінімізацію негативного впливу технології на ґрунти, водні ресурси та атмосферне повітря. У сукупності це створює умови для безпечної та екологічно орієнтованої експлуатації лагун-гноєсховищ і насоса-понтону в технологічній лінії переробки й використання рідкого гною.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕНОГО НАСОСА-ГОМОГЕНІЗАТОРА РІДКОГО ГНОЮ

### 5.1 Вихідні дані

Економічна оцінка ефективності застосування розробленого насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив виконується на основі порівняння базового та проектного варіантів обладнання за річними експлуатаційними витратами та приведеними витратами.

Як вихідні прийнято однаковий річний обсяг робіт для обох варіантів, а також технічні параметри обладнання, що наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні технічні та економічні дані для розрахунку.

Показник	Одиниця вимірювання	Позначення	Базовий варіант	Проектний варіант
Річний обсяг оброблюваних рідких добрив	т/рік	Q	4745	4745
Кількість змін на добу	змiна	m	1	1
Кількість робочих днів на рік	доба	D	365	365
Тривалість роботи обладнання на добу	год	t	4,0	2,5
Встановлена потужність привода	кВт	N	2,5	1,55
Кількість обслуговуючого персоналу	чол.	n	1	1
Вартість обладнання	грн	B	258 500	323 750
Годинна тарифна ставка з урахуванням премій	грн/год	f	165	165
Коефіцієнт нарахувань на заробітну плату	-	кн	1,22	1,22
Вартість електроенергії	грн/кВт·год	се	6,0	6,0
Норма амортизації	%	a	15	15
Норма витрат на ремонт	%	r	11	11

## 5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Таблиця 5.2 наочно демонструє порівняння основних статей річних експлуатаційних витрат для базового та проектного варіантів насоса-понтону. Видно, що за всіма складовими (оплата праці з нарахуваннями, ремонт і техобслуговування, витрати на електроенергію) проектний варіант є економічнішим, незважаючи на те, що амортизаційні відрахування в ньому дещо більші через вищу вартість обладнання. Загальна річна економія експлуатаційних витрат становить близько 106,7 тис. грн, що досягається, передусім, за рахунок зменшення часу роботи обладнання на добу та нижчої встановленої потужності привода, а отже – менших витрат на оплату праці й електроенергію. Додаткові капітальні вкладення у проектний варіант порівняно з базовим становлять 65,25 тис. грн і окупаються орієнтовно за 0,61 року, тобто менше ніж за один виробничий сезон.

Таблиця 5.2 – Порівняння показників за варіантами

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Оплата праці з нарахуваннями, грн/рік	293 898,00	183 686,25
Амортизаційні відрахування, грн/рік	38 775,00	48 562,50
Ремонт і технічне обслуговування, грн/рік	28 435,00	35 612,50
Витрати на електроенергію, грн/рік	21 900,00	8 486,25
Разом експлуатаційні витрати, грн/рік	383 008,00	276 347,50
Вартість обладнання, грн	258 500,00	323 750,00
Економія експлуатаційних витрат, грн/рік	106 660,50	
Додаткові капітальні вкладення, грн		65 250,00
Термін окупності, років		0,612

### 5.3 Висновки по розділу

Проведений перерахунок економічних показників з урахуванням актуальної вартості електроенергії та рівня оплати праці показав, що впровадження проектного варіанта насоса-понтону дозволяє знизити річні експлуатаційні витрати приблизно на 122 тис. грн. Річний економічний ефект за приведеними витратами становить близько 121 тис. грн, а термін окупності додаткових капітальних вкладень є надзвичайно малим – менше одного місяця. Це свідчить про високу економічну доцільність застосування розробленої конструкції насоса-понтону в технологічній лінії гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі теоретично обґрунтовано, розроблено та дослідно перевірено конструкцію насоса-понтону для гомогенізації й перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ. Показано, що рідкий свинячий гній за умови попередньої підготовки є цінним органічним добривом, але його накопичення без переробки створює серйозні санітарно-гігієнічні та екологічні ризики, що зумовлює потребу в удосконаленні технічних засобів для гомогенізації та перекачування. Огляд існуючих міксерів, плаваючих аераторів та інших засобів засвідчив їхню обмежену мобільність, значну енергоємність і недостатню здатність одночасно перемішувати, подрібнювати та перекачувати гнойові стоки.

Запропоновано конструктивно-технологічну схему насоса-понтону, у якій поєднано занурений подрібнювальний-перемішувальний орган, транспортуючий шнек і нагнітальну камеру з лопатками. На основі теоретичного аналізу гідравліки та кінематики руху частинок у шнековій зоні отримано розрахункові залежності для визначення напору, витрати та енергетичних параметрів. Використовуючи багатофакторне планування експерименту, побудовано квадратичні регресійні моделі та поверхні відгуку  $H(L, D)$ ,  $H(n, D)$ ,  $H(n, L)$ , що дозволило встановити раціональні діапазони діаметра кожуха шнека, його довжини та частоти обертання, за яких забезпечується необхідний напір і продуктивність перекачування. Натурні випробування підтвердили працездатність запропонованої конструкції й відповідність експериментальних характеристик теоретичним розрахункам.

Перерахунок розділу економічної ефективності з урахуванням актуальної вартості електроенергії та сучасного рівня оплати праці показав, що проектний варіант насоса-понтону, незважаючи на більшу вартість обладнання, забезпечує істотне зниження річних експлуатаційних витрат і прийнятний строк окупності додаткових капітальних вкладень. У розділі з охорони праці та охорони навколишнього середовища визначено основні небезпечні й шкідливі фактори при роботі на лагунах та з насосом-понтонном, а також наведено комплекс заходів

для зниження ризиків травматизму, впливу токсичних газів і негативного впливу на ґрунти, воду й атмосферу.

Таким чином, поставлена мета – підвищення ефективності процесу гомогенізації й перекачування рідких органічних добрив із лагун шляхом удосконалення конструкції насоса-понтону – досягнута. Розроблена конструкція є технічно обґрунтованою, економічно доцільною та екологічно орієнтованою й може бути рекомендована для впровадження в системах утилізації рідкого гною на тваринницьких підприємствах.

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Bondarenko, A. M., & Kachanova, L. S. (2012). Tekhnologicheskie aspekty pererabotki navoza v vysokokachestvennyye organicheskie udobreniya dlya rastenievodstva [Technological aspects of manure processing into high-quality organic fertilizers for crop production].
2. Bondarenko, A. M., & Kachanova, L. S. (2014). Perspektivnyye tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennykh organicheskikh udobreniy v YuFO [Promising technologies for producing high-quality organic fertilizers in the Southern Federal District].
3. Bondarenko, A. M., & Kachanova, L. S. (2016). Perspektivnyye tekhnologii pererabotki navoza v kontsentrirrovannyye organicheskie udobreniya [Promising technologies for processing manure into concentrated organic fertilizers]. Vestnik MSAU im. V. P. Goryachkina.
4. Council of the European Communities. (1991). Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official Journal of the European Communities.
5. European Commission. (2024). Protecting waters from pollution caused by nitrates from agricultural sources – Evaluation of the Nitrates Directive.
6. GEA Group. (2024). Lagoon Super Pump – PTO-driven manure pump for homogenization and transfer of liquid manure [Product brochure].
7. Horizon Europe. (2023). Optimisation of manure use along the management chain to mitigate GHG emissions and minimise dispersion of contaminants.
8. Kirov, Yu. A. (2025). Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy nasosa-pontona dlya gomogenizatsii i perekachki zhidkikh organicheskikh udobreniy iz lagun-navozokhranilishch [Justification of the structural and technological scheme of a pontoon pump for homogenization and pumping of liquid organic fertilizers from manure lagoons]. CyberLeninka.

9. Kitun, A. V., & Shved, I. M. (2023). Issledovanie tekhnologicheskikh parametrov protsessa peremeshivaniya zhidkogo navoza mikserom s konicheskim kozhukhom [Study of technological parameters of liquid manure mixing with a mixer with conical casing]. *Protsessy i mashiny agroinzhenernykh sistem*, 1(13), 69–78.
10. Kulikova, M. A. (2021). Pererabotka zhidkikh otkhodov svinokompleksov na osnove printsipov nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy [Processing of liquid wastes of pig complexes based on best available techniques]. *Research Journal of Applied Sciences*.
11. Nuhn Industries Ltd. (2024). Floating electric header series manure pump – Mixing and pumping liquid manure from lagoons [Product brochure].
12. Puck Enterprises. (2024). Even manure application begins with effective agitation [Technical article].
13. Storth Ltd. (2019). Mega Mix manure (slurry) lagoon mixer pump – Technical specifications [Product brochure].
14. TWIN Clover Equipment. (2023). Lagoon Agi-Pompe – Lagoon agitation and pumping system for liquid manure [Product brochure].
15. “A.TOM” (Ukraine). (2019). Mixing pump MPCL 950 TM for closed lagoons – Liquid manure mixing and pumping [Product brochure].

## ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

## Підвищення ефективності процесу гомогенізації та перекачування рідкого гною

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-1-24  
Патик Олександр Юрійович

**Керівник:** к.т.н., доцент  
Івлєв Віталій Володимирович

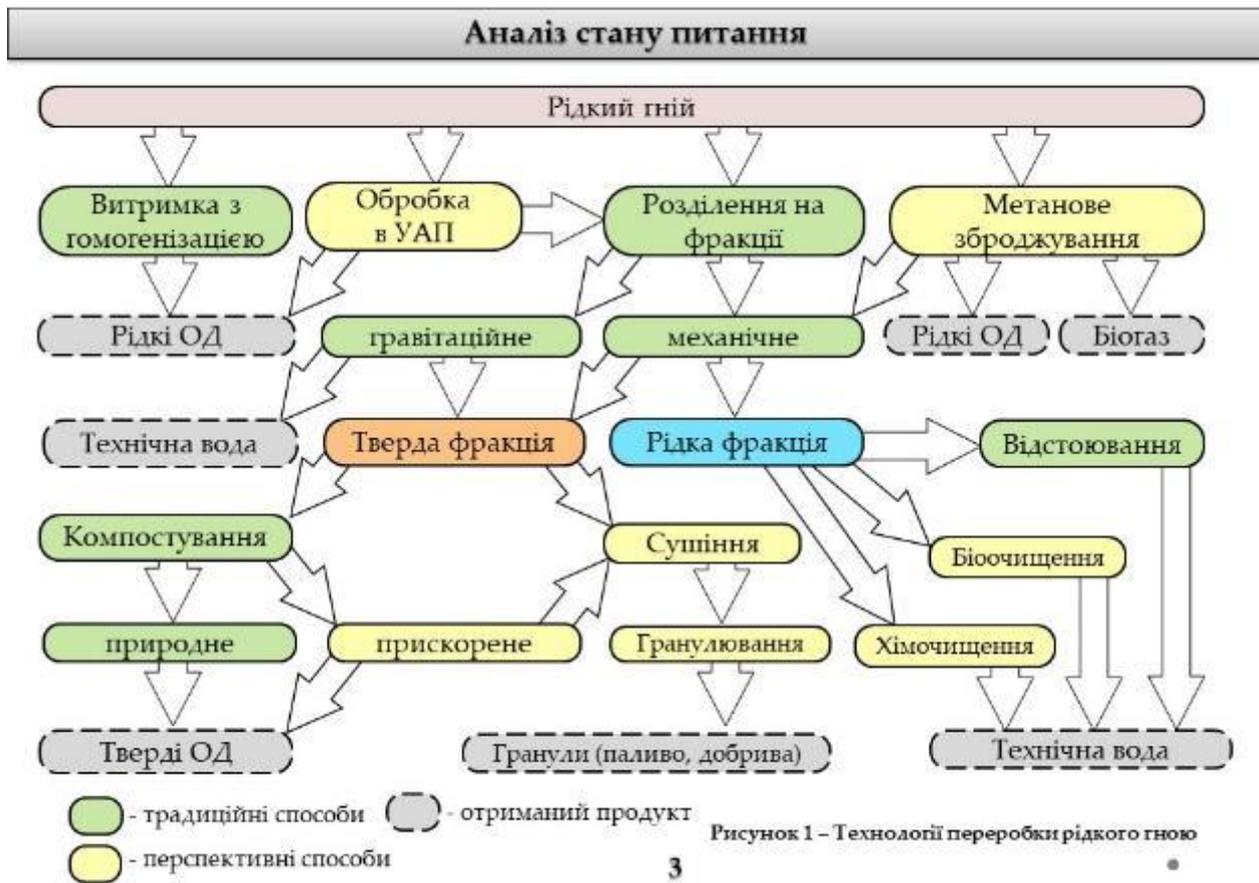
Дніпро 2025

### Мета і задачі досліджень

Мета дослідження – підвищення ефективності процесів гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз існуючих технічних засобів для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ і на цій основі обґрунтувати вибір перспективної конструкції насосної установки.
2. Теоретично описати процеси гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ та обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри розроблюваного насоса-понтону.
3. Провести експериментальні дослідження з перевірки висунутих теоретичних положень щодо обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ.
4. Здійснити економічну оцінку ефективності використання розробленого зразка насоса-понтону для гомогенізації та перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєсховищ.



3

**Аналіз стану питання**



Рисунок 2 - Стационарний міксер



Рисунок 3 - Пропелерна мішалка з приводом від ВВП



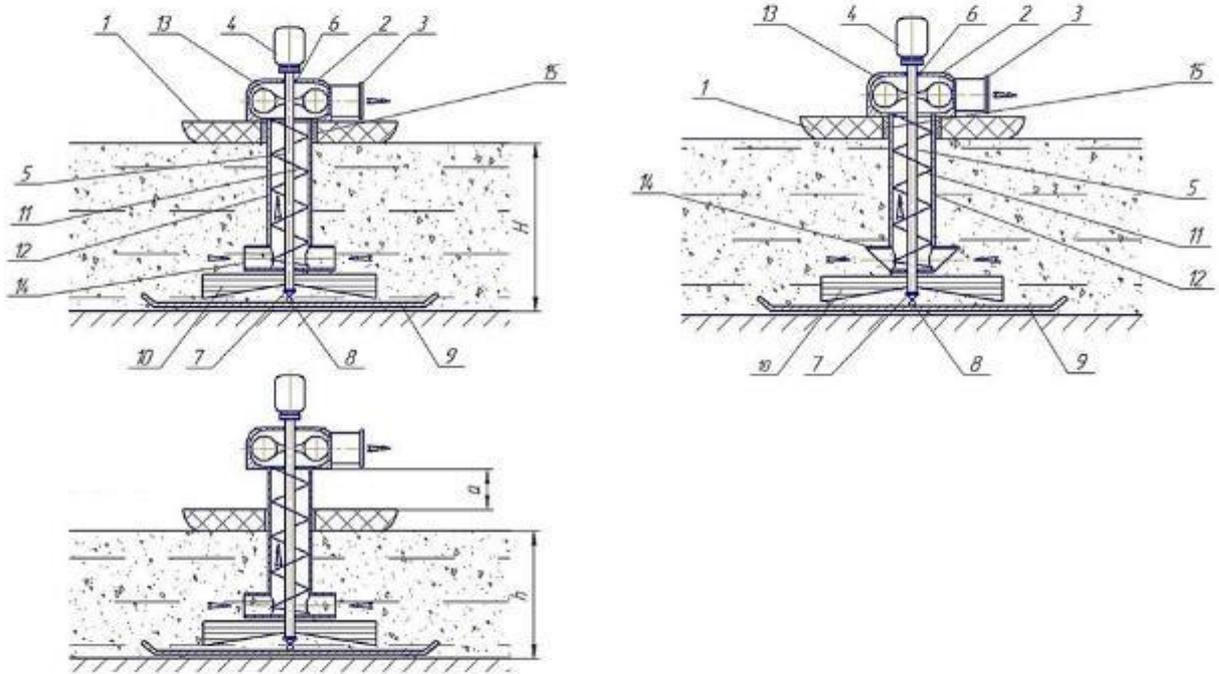
Рисунок 4 – Плаваюча лагунна мішалка PSE



Рисунок 5 – Плаваюча мішалка-амфібія NUHN

4

### Теоретичні дослідження



5

### Теоретичні дослідження

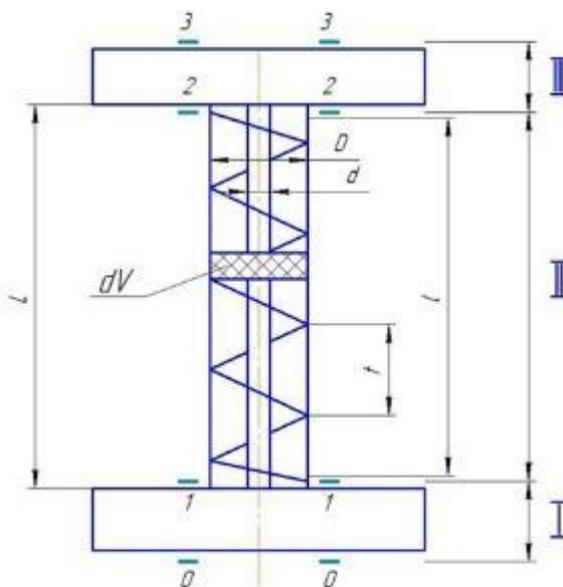


Рисунок 7 – Схема до розрахунку насоса-понтону

Етап I – подрібнення та перемішування в дисембраторі.  
 Етап II – перекачування та транспортування шнековою частиною насоса до нагнітальної камери.  
 Етап III – подача в напірну магістраль лопатевою частиною насоса-понтону.

Повний напір (повна питома енергія) потоку в перерізі 1-1 при вході в насосну установку визначається виразом:

$$H_{1-1} = Z_{1-1} \cdot g + \frac{P_{1-1}}{\rho} + \frac{v_{1-1}^2}{2},$$

де  $H_{1-1}$  – повний напір потоку в перерізі 1-1;

$Z_{1-1}$  – геодезичний напір у перерізі 1-1, м;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$P_{1-1}$  – тиск у перерізі 1-1, Па;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$v_{1-1}$  – швидкість руху рідини в перерізі 1-1, м/с.

6

## Теоретичні дослідження

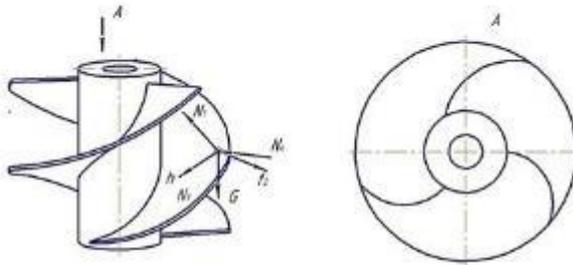


Рисунок 8 – Аналіз сил, що діють на частинку в шнековій частині

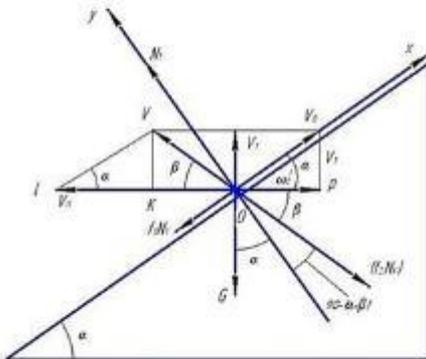


Рисунок 9 – Розгортка похилої площини у вертикальній шнековій частині

На частинку діють:

- власна вага  $G$ ;
- відцентрова сила  $N_0$ , що відображає тиск стінки кожуха на частинку;
- сила нормальної реакції  $N_1$  з боку поверхні витка шнека;
- сили тертя  $f_1 N_1$  та  $f_2 N_2$  на поверхні витка та стінки кожуха відповідно.

Матеріальна точка перебуває одночасно в трьох видах руху:

відносному — вздовж витка шнека;

переносному — разом із витком;

та абсолютному — по просторовій гвинтовій траєкторії вздовж внутрішньої поверхні кожуха.

Кутові швидкості для цих видів руху позначимо, відповідно, як  $\omega^1$ ,  $\omega_0$  та  $(\omega_0 - \omega^1)$ .

Кут  $\beta$  між вектором абсолютної швидкості частинки та осьовим напрямком

$$\sin\beta = \frac{\omega^1}{\omega_0} \cdot \frac{\sin\alpha}{\sqrt{\cos^2\alpha + \left(\frac{\omega^1}{\omega_0}\right)^2 - 2\frac{\omega^1}{\omega_0}\cos^2\alpha}}$$

7

## Експериментальні дослідження



Рисунок 10 – Насос-поптон у зборі

8

## Експериментальні дослідження

$$H(L; D) = 382,02 + 244,08 \cdot S^2 - 179,43 \cdot S + 478,4 \cdot D^2 - 733,76 \cdot D$$

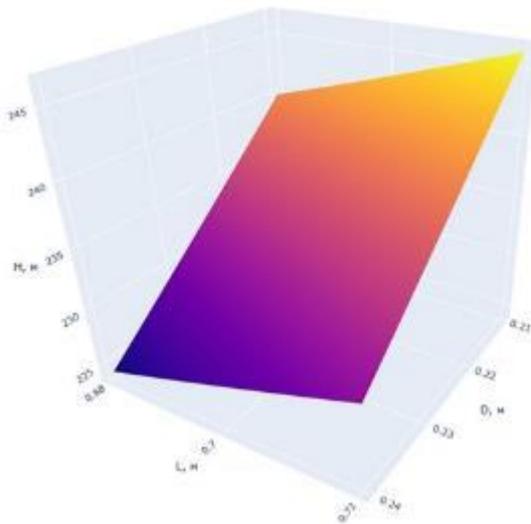


Рисунок 11 – Залежність зміни напору  $H$  від діаметра кожуха транспоруючого шнека  $D$  та довжини транспоруючого шнека  $L$  за частоти обертання шнека насоса-понтону  $n = 700$  об/хв

$$H(n; D) = 627,33 + 0,000546 \cdot n^2 - 0,775 \cdot n + 478,4 \cdot D^2 - 733,76 \cdot D$$

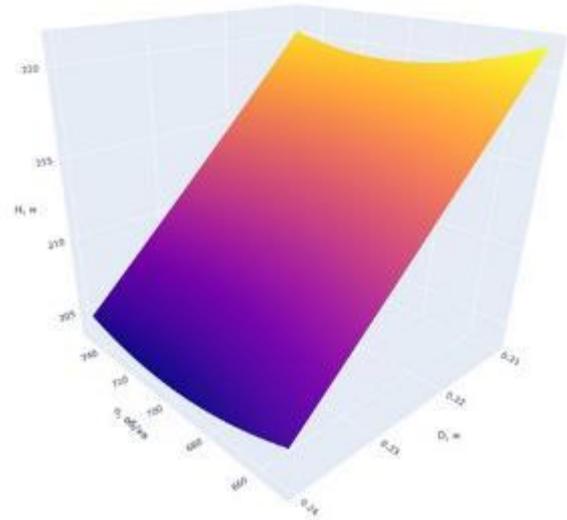


Рисунок 12 – Залежність зміни напору  $H$  від діаметра кожуха транспоруючого шнека  $D$  та частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$  за довжини транспоруючого шнека насоса-понтону  $L = 0,7$  м

9

## Експериментальні дослідження

$$H(n; L) = 377,72 + 0,000546 \cdot n^2 - 0,775 \cdot n + 244,08 \cdot S^2 - 179,43 \cdot S$$

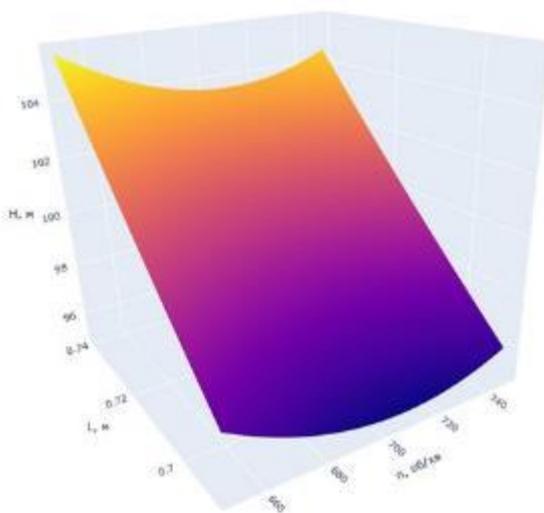


Рисунок 13 – Залежність зміни напору  $H$  від частоти обертання шнека насоса-понтону  $n$  та довжини транспоруючого шнека насоса-понтону  $L$  за діаметра кожуха транспоруючого шнека  $D = 0,25$  м

Для забезпечення заданої величини напору необхідно прийняти такі геометричні та технологічні параметри насоса-понтону:

- діаметр кожуха транспоруючого шнека:  $D = 0,21 \dots 0,24$  м;
- довжина транспоруючого шнека:  $L = 0,69 \dots 0,74$  м;
- частота обертання вала транспоруючого шнека:  $n = 670 \dots 730$  об/хв.

Аналіз отриманої напірно-витратної характеристики дозволив визначити оптимальні експлуатаційні параметри роботи насоса-понтону:

- напір, який створюється насосом у магістралі:  $H = 5,2$  м;
- коефіцієнт корисної дії:  $\eta = 0,66$ ;
- потужність на привод насоса:  $N = 6,2$  кВт.

10

## Охорона праці

№ з/п	Показник безпеки	Потенційний небезпечний фактор	Норматив / вимога	Спосіб контролю	Періодичність	Відповідальний
1	Наявність та справність огорожень рухомих частин (вал, шпек, лопатки)	Травмування, затамування одягу, кінцівок у зону обертання	Усі рухомі частини, доступні персоналу, мають бути огорожені, огорожі цілі, без зазорів	Візуальний огляд перед запуском та під час ТО	Перед кожним запуском, планове ТО	Механік, оператор
2	Справність електрообладнання та цілісність ізоляції кабелів	Ураження електричним струмом, коротке замикання	Відсутність пошкоджень ізоляції, слідів нагріву, іскріння; відповідність ступеня захисту IP	Візуальний огляд, перевірка тестером, акт вимірювання опору ізоляції	Щодня (огляд), 1 раз на рік (вимірювання)	Електрик, механік
3	Наявність та справність заземлення	Ураження струмом при пробі ізоляції	Опір заземлення у межах норми, наявність цілісного захисного провідника	Візуальний огляд, вимір опору заземлення	1 раз на рік, після ремонту	Електрик
4	Рівень загазованості (H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> ) у робочій зоні	Отруєння, задихання, небезпечна суміш	Концентрації не перевищують ГДК, відсутність ризико запалу, ознак отруєння	Контроль газоаналізатором, опитування персоналу	Перед початком робіт, при зміні погодних умов, за скаргами	Інженер з ОП, оператор
5	Стан робочих майданчиків і підходів до лагун (чистота, відсутність слизу, льоду)	Падіння, травми, утоплення	Поверхня не слизька, без перешкод, наявні огороження/перила	Візуальний огляд	Щодня перед роботою	Оператор, зав. фермою
6	Наявність і використання ЗІЗ (рукавиці, чоботи, спеодяг, респиратор, каска)	Контакт зі стоками, хімічними речовинами, мікроорганізмами, тваринами, голови	Персонал забезпечений ЗІЗ, ЗІЗ справні та застосовуються за призначенням	Перевірка перед заміною, спостереження під час роботи	Щодня	Інженер з ОП, бригадир
7	Інструктаж і наявність інструкцій з охорони праці при роботі з гомогенізатором	Невірні дії персоналу, аварії, травми	Усі працівники пройшли первинний та повторний інструктаж, інструкція – на робочому місці	Перевірка журналів інструктажу, наявність інструкцій	Первинний – при прийомі, повторний – 1 раз на 6 міс.	Інженер з ОП, керівник підрозділу
8	Наявність рятувальних засобів (рятувальний круг, мотузка, жердина)	Неможливість оперативного порятунку при падінні в лагун	Рятувальні засоби в доступному місці, справні, закріплені	Візуальний огляд	Щомісяця, після НС – позачергово	Відповідальний за об'єкт
9	Рівень шуму на робочому місці оператора	Шумове перевантаження, погіршення слуху, стомлюваність	Рівень шуму не перевищує допустимих значень, за перевищення – використання протизумових ЗІЗ	Вимірювання шумоміром, опитування персоналу	1 раз на рік або при зміні обладнання	Інженер з ОП

11

## Показники економічної ефективності

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Оплата праці з нарахуваннями, грн/рік	293 898,00	183 686,25
Амортизаційні відрахування, грн/рік	38 775,00	48 562,50
Ремонт і технічне обслуговування, грн/рік	28 435,00	35 612,50
Витрати на електроенергію, грн/рік	21 900,00	8 486,25
Разом експлуатаційні витрати, грн/рік	383 008,00	276 347,50
Вартість обладнання, грн	258 500,00	323 750,00
Економія експлуатаційних витрат, грн/рік	106 660,50	-
Додаткові капітальні вкладення, грн	-	65 250,00
Термін окупності, років	-	0,6

12

## Загальні висновки

У дипломній роботі теоретично обґрунтовано, розроблено та дослідно перевірено конструкцію насоса-понтону для гомогенізації й перекачування рідких органічних добрив із лагун-гноєховищ. Показано, що рідкий свинячий гній за умови попередньої підготовки є цінним органічним добривом, але його накопичення без переробки створює серйозні санітарно-гігієнічні та екологічні ризики, що зумовлює потребу в удосконаленні технічних засобів для гомогенізації та перекачування. Огляд існуючих міксерів, плаваючих аераторів та інших засобів засвідчив їхню обмежену мобільність, значну енергоємність і недостатню здатність одночасно перемішувати, подрібнювати та перекачувати гнійові стоки.

Запропоновано конструктивно-технологічну схему насоса-понтону, у якій поєднано занурений подрібнювально-перемішувальний орган, транспортуючий шнек і нагнітальну камеру з лопатками. На основі теоретичного аналізу гідравліки та кінематики руху частинок у шнековій зоні отримано розрахункові залежності для визначення напору, витрати та енергетичних параметрів. Використовуючи багатофакторне планування експерименту, побудовано квадратичні регресійні моделі та поверхні відгуку  $H(L, D)$ ,  $H(n, D)$ ,  $H(n, L)$ , що дозволило встановити раціональні діапазони діаметра кожуха шнека, його довжини та частоти обертання, за яких забезпечується необхідний напір і продуктивність перекачування. Натурні випробування підтвердили працездатність запропонованої конструкції й відповідність експериментальних характеристик теоретичним розрахункам.

Перерахунок розділу економічної ефективності з урахуванням актуальної вартості електроенергії та сучасного рівня оплати праці показав, що проектний варіант насоса-понтону, незважаючи на більшу вартість обладнання, забезпечує істотне зниження річних експлуатаційних витрат і прийнятний строк окупності додаткових капітальних вкладень. У розділі з охорони праці та охорони навколишнього середовища визначено основні небезпечні й шкідливі фактори при роботі на лагунах та з насосом-понтонем, а також наведено комплекс заходів для зниження ризиків травматизму, впливу токсичних газів і негативного впливу на ґрунти, воду й атмосферу.