

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра механічної та електричної інженерії**

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти  
«магістр»

на тему: «Підвищення енергоефективності насосних агрегатів для  
перекачування стоків АПК»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 133 Галузеве  
машинобудування  
ступеня вищої освіти «магістр» групи 2  
Луценко Олег Анатолійович

Керівник: Семенов А.О.

Рецензент: Арендаренко В.М.

**Полтава – 2023 року**

## ВСТУП

Сьогодні, в умовах постійного зростання екологічних проблем та підвищення вимог до стандартів довкілля, проблема ефективного управління ресурсами та раціонального використання енергії стає надзвичайно актуальною для сільськогосподарського виробництва (АПК). Однією з ключових галузей сільського господарства є переробка та очищення стічних вод, яка вимагає значних енергетичних ресурсів та може мати великий вплив на навколишнє середовище, якщо не виконувати її ефективно.

На сьогоднішній день насосні агрегати відіграють ключову роль у процесі перекачування стічних вод у сільському господарстві. Інтенсивний розвиток технологій та автоматизації виробництва в АПК вимагає нових підходів до використання насосних систем та їх оптимізації з метою підвищення енергоефективності, зменшення витрат електроенергії та зниження негативного впливу на довкілля.

Магістерська робота присвячена дослідженню та вдосконаленню технологічних рішень для підвищення енергоефективності насосних агрегатів, які використовуються у сільському господарстві для перекачування стічних вод. Робота спрямована на аналіз існуючих технологій, визначення їхніх переваг та недоліків, і розробку інноваційних підходів, які дозволять забезпечити оптимальне використання енергії та покращити екологічні показники сільськогосподарської діяльності.

Вдосконалення системи перекачування стічних вод у сільському господарстві з метою забезпечення їхньої вищої ефективності та стійкості є актуальною та перспективною задачею. Для вирішення питання вдосконалення системи перекачування стоків на насосній станції потрібно провести дослідження сучасних наукових та технологічних досягнень в області насосних систем, розробку нових методів та рішень, а також їхню практичну реалізацію та експериментальну перевірку.

**Об'єкти розробки** - насосні агрегати для перекачування стічних вод у сільському господарстві (АПК).

**Предмет розробки** - підвищення енергоефективності та оптимізація насосних агрегатів для перекачування стічних вод в аграрному секторі.

**Мета кваліфікаційної роботи магістра:** Вдосконалення системи перекачування стічних вод у сільському господарстві з метою забезпечення їхньої вищої ефективності та стійкості, а також у зменшенні споживання енергії та негативного впливу на довкілля.

**Методика досліджень.** Як основні методики використовувалися основні положення законів і методів класичної та теоретичної механіки для вивчення сучасних досягнень у галузі насосних агрегатів, їхніх характеристик та енергоефективності. Проведення досліджень для вимірювання робочих параметрів насосних агрегатів, включаючи потужність, продуктивність, тиск, споживану енергію тощо. Експериментальна перевірка та валідація розроблених математичних моделей на реальних насосних агрегатах.

**Практичне значення кваліфікаційної роботи магістра.** Результати досліджень дозволять підвищити енергоефективність насосних агрегатів, що призведе до зменшення витрат електроенергії та витрат на експлуатацію. Оптимізація насосних систем дозволить знизити негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема, шляхом зменшення викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин. Практична реалізація результатів досліджень може бути здійснена через впровадження розроблених методів та рекомендацій, спрямована на покращення ефективності та стійкості насосних систем у переробці стічних вод та інших технологічних процесах.

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Насоси та насосні установки, їх характеристики

Гідравлічна машина, яка створює переміщення рідини при подачі енергії, називається насосом. Насос, разом із електроприводом та передавальним механізмом, формує насосний агрегат. Комплекс обладнання, яке забезпечує роботу насосів у визначеному режимі, утворює насосну установку [1, 2].

Зазвичай насосна установка складається з одного або кількох насосних агрегатів, трубопроводів, запірно-регулюючого обладнання, вимірювальних приладів, системи управління та захисту. Споруда, до складу якої входить одна або декілька насосних установок, система живлення, додаткові механізми, побутові та виробничі приміщення, які забезпечують функціонування об'єкта, називається насосною станцією.

Основними параметрами, що характеризують режим роботи насосної установки, є подача та напір. Подача - це об'єм рідини, перекачуваний насосною установкою за одиницю часу ( $\text{м}^3/\text{год}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ). Напір - різниця специфічних енергій рідини у фланцях насоса, необхідна для підняття рідини на задану висоту та подолання опору тертя в трубопроводі [3]. Поняття напору еквівалентне терміну тиск  $P$ . Напір і тиск пов'язані між собою співвідношенням

$$H = P / (\rho \cdot g), \quad (1.1)$$

де  $H$  - напір, м;  $P$  - тиск насоса, Па;  $\rho$  - щільність рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  - прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Режим роботи насосної установки - це певний порядок роботи її обладнання відповідно до змінних умов роботи системи в цілому.

Насосні установки поділяються на водопровідні, каналізаційні, теплофікаційні, нафтоперекачувальні та інші.

Водопровідні насосні станції (ВНС) поділяються на станції I та II підйому та підсилювальні.

ВНС I підйому забирають воду з джерела водопостачання та подають її до очисних споруд. Потім очищена вода самостійно потрапляє в резервуари чистої води (РЧВ).

ВНС II підйому подають воду з РЧВ через водопроводи та магістральні трубопроводи в розподільчу мережу трубопроводів, звідки вона надходить до споживачів.

Якщо тиск, що розвивається недостатній для підйому води на необхідну висоту, будують підсилювальні насосні станції (станції підкачки), які здійснюють забір води як через проміжні резервуари, так і безпосередньо з мережі. У останньому випадку станції працюють за схемою "з труби в трубу".

Водопровідні насосні станції також поділяються на ВНС технічної та питної води. Принцип роботи цих ВНС однаковий, але режими їх роботи відрізняються один від одного. Режим роботи ВНС технічної води визначається виробничим циклом підприємства, а ВНС питної води - ритмом життя населення [4, 5].

Каналізаційні насосні станції (КНС) призначені для перекачування стічних вод до місця очищення. Стічні води із самотекучої каналізаційної мережі поступають до приймального резервуара КНС, звідки насосами подаються в тискові водопроводи і через камери гашення потрапляють в самотекучі колектори. З самотекучих колекторів більш потужні КНС знову подають стоки в тискові колектори більшого розміру. Таким чином, через кілька етапів перекачування стоки потрапляють на очисні споруди (станції аерації та інше).

Теплофікаційні насосні станції призначені для подачі гарячої води в системи опалення та гарячого водопостачання [6]. Джерелами гарячої води є центральні котельні та теплоелектростанції, на яких встановлюють мережеві

насоси. За допомогою цих насосів вода проходить через нагрівачі (бойлери), де її нагрівають паром, що надходить з теплофікаційних відборів турбін, і далі через трубопровідну мережу до теплових пунктів споживачів. Віддавши свою теплоту через теплообмінні апарати, охолоджена вода повертається по зворотній лінії до всмоктуючого колектора мережевих насосів.

Насосні установки теплових електростанцій (ТЕС) виконують різноманітні функції в технологічному процесі виробництва електричної та теплової енергії: живильні подають воду в котельні агрегати, конденсатні перекачують конденсат (пар, який відпрацював у турбіні, перетворившись на рідину) в деаератор. Циркуляційні забезпечують постійну циркуляцію охолоджувальної води через конденсатор та охолоджувальні пристрої (градирні, бризкальні басейни).

Насосні станції комплектуються одним або кількома насосними агрегатами, кількість яких може варіюватися в широких межах: від 1 до 20.

Якщо до складу насосної установки входять кілька агрегатів, напірні та всмоктуючі лінії насосів з'єднуються між собою напірними та всмоктуючими колекторами. До напірних колекторів приєднують напірні водопроводи, а до всмоктуючих - всмоктуючі водопроводи. У разі наявності приймальних резервуарів всмоктуючі колектори можуть не передбачатися, а всмоктуючі лінії насосів з'єднуються безпосередньо з резервуаром.

На сучасних насосних установках найбільше поширення отримали лопатні насоси (відцентрові та осьові).

## **1.2 Відцентрові та осьові насоси**

*Відцентрові насоси та їх характеристика* (рис. 1.1). Розглянемо конструкцію насосу [7]. У середині нерухомого корпусу 1, який має спіральну форму, розташоване робоче колесо 2, закріплене на валу 3. Колесо 2 складається з двох дисків, між якими розміщені лопаті 4. Корпус насоса з'єднаний з всмоктуючим і напірним трубопроводами фланцями 5 і 6. Якщо

корпус насоса та його всмоктуючий трубопровід заповнити рідиною, а потім привести в обертання робоче колесо, то рідина під дією лопатей робочого колеса починає обертатися. Відцентрові сили переміщують рідину на периферію, де створюється підвищений тиск, а в центрі колеса - розрідження. Завдяки цій різниці тисків рідина потрапляє в напірний трубопровід. Так здійснюється неперервна подача рідини.

Рисунок 1.1. Схема одноступінчастого відцентрованого насоса (а) та його робочі характеристики (б):  $H$  - напір насоса;  $Q$  - подача;  $\eta$  - ККД;  $h_{\text{вак}}^{\text{д}}$  допустима вакуумметрична висота всмоктування;  $N$  - потужність;  $D$  - діаметр робочого колеса.

Відцентрові насоси можуть бути як одноступінчастими (з одним робочим колесом), так і багатоступінчастими (з декількома колесами). З конструктивної точки зору, в залежності від розташування вала, вони поділяються на горизонтальні та вертикальні.

**Осьові насоси та їх характеристика.** Розглянемо конструктивні особливості. Робоче колесо обертається в сферичній камері. Під впливом лопатей робочого колеса на рідину змінюється швидкість потоку, тиск над лопаткою підвищується, а під нею знижується. Завдяки різниці тиску рідина переміщується вздовж осі насоса. Насоси цього типу призначені для перекачування великих обсягів води з невеликим напором (до 20 м).

Осьові насоси (типу О) виробляються з жорстко закріпленими лопатями робочого колеса та з обертовими лопатями (тип ОП). Насоси обох типів можуть виготовлятися в двох варіантах: Г - з горизонтальним розташуванням вала, В - з вертикальним. Можливість зміни кута встановлення лопатей насосів ОП дозволяє регулювати подачу та напір насоса в широких межах, зберігаючи при цьому високі значення ККД. Тому цей тип насосів, як правило, обладнаний нерегульованим електроприводом [4].

Характеристики насосів - це залежності основних параметрів насоса від подачі  $Q$  при певній частоті обертання  $n$  для певного діаметра робочого колеса  $D$ .

На рис. 1.1, б представлені робочі характеристики відцентрованого насоса Д1250-65 для коліс трьох діаметрів: 460, 430 і 400 мм при частоті обертання  $1450 \text{ хвилини}^{-1}$ . Характеристики насосів інших типів можуть відрізнятися від представлених на рис. 1.1, б.

Однією з важливих характеристик насоса є залежність його напору від подачі:

$$H = f(Q) \quad (1.2)$$

Часто її називають характеристикою  $Q$ - $H$  або напірно-розхідною. Вона може бути пологою або крутою, неперервно спадаючою (стабільною) або спочатку зростаючою, а потім спадаючою (лабільною, тобто нестійкою).

Робочі параметри відцентрових насосів можуть змінюватися відносно широкими межами [7, 8]. Збільшення подачі призводить до зменшення напору, а зменшення - до збільшення напору. Межі робочого діапазону подач і напорів на характеристиці насоса позначаються вибитими вертикальними рисочками або іншим способом. У межах рекомендованих подач і напорів характеристика  $H = f(Q)$  описується рівнянням сегмента квадратичної параболи

$$H_n = H_\phi - S_\phi Q^2, \quad (1.3)$$

де  $H_\phi$  - фіктивний напір при нульовій подачі, м;  $S_\phi$  - гідравлічний фіктивний опір насоса,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ .

Значення параметрів  $H_\phi$  і  $S_\phi$  для вітчизняних насосів наводяться в [1, 2].

У разі необхідності фіктивні параметри визначаються за каталожними або експериментальними характеристиками насоса. Для цього беруть координати двох точок робочої частини характеристики  $H = f(Q)$ , наприклад, точок 1 і 2 (рис. 1.1, б). Цим точкам відповідають напори  $H_1$  і  $H_2$ , м, подачі  $Q_1$

і  $Q_2$ , м<sup>3</sup>/с. За цими значеннями визначають фіктивний гідравлічний опір насоса і фіктивний напір при нульовій подачі:

$$H_{\phi} = H_1 + S_{\phi} Q_1^2 \quad (1.4)$$

Значення фіктивного напору залежать від конструктивних параметрів насоса.

Відношення фіктивного напору до номінального  $H_{\phi}^* = H_{\phi} / H_{\text{ном}}$  дає уявлення про крутизну напірної характеристики насоса. Для більшості вітчизняних насосів, які перекачують чисту воду, відносно фіктивне значення напору  $H_{\phi}^* \approx 1,25$ , а для фекальних насосів, які перекачують стічні води,  $H_{\phi}^* \approx 1,45$ .

*Привод насосів.* Для приводу насосів використовуються переважно асинхронні короткозамкнуті і синхронні двигуни змінного струму. Іноді використовуються асинхронні електродвигуни з фазним ротором. Електродвигуни потужністю до 400 кВт, зазвичай, виготовляються для напруги 380-660 В, а вище цієї потужності - для 6-10 кВ.

*Трубопроводи.* Трубопровідна арматура. Внутрішні трубопроводи насосних станцій (напірні і всмоктуючі лінії насосів, всмоктуючі і напірні колектори тощо) виготовляються зі сталевих труб. З'єднання сталевих труб здійснюється зварюванням. У якості трубопровідної арматури в насосних установках використовують засувки, затвори, зворотні клапани.

Засувки є запірними пристроями і не повинні використовуватися для регулювання режиму роботи насосів. Дискові обертові затвори виготовляють у різних виконаннях: як запірні пристрої і для регулювання режиму роботи насосів. Затвори і засувки виготовляють з ручними або електричними приводами [9].

Зворотні клапани призначені для запобігання спорожненню напірних трубопроводів і зворотньому обертанню насоса після його зупинки.

Конструкції зворотних клапанів різні: зі сповільненою посадкою, однодискові, багатодискові, з противагою тощо.

Під час роботи насоса під дією потоку води диск клапана обертається навколо осі, і вода проходить через нього. Після зупинки насоса диск клапана під дією власної ваги і тиску води з боку напірного водопроводу опускається, і затвор закривається [10].

### 1.3 Режими роботи насосних установок

Режими роботи насосної установки залежать від зміни водоспоживання або надходження стічних рідин. Характер зміни водоспоживання і надходження стічних вод визначається багатьма незалежними причинами: кліматичними та погодними умовами, режимом роботи підприємств і організацій міста, кількістю культурно-розважальних заходів і їх програмами.

Режим водоспоживання зазвичай характеризується добовими, тижневими та іншими графіками водоспоживання. На рисунку 1.2 наведено приблизний добовий графік водоспоживання невеликого населеного пункту.

Крім того, режим водоспоживання характеризується кривою розподілу подачі, яка дає уявлення про діапазон зміни водоспоживання протягом певного періоду часу (місяць, рік тощо) і тривалість роботи системи з певним водоспоживанням (рис. 1.3).

Графіки водоспоживання характеризуються коефіцієнтами нерівномірності. Максимальний коефіцієнт нерівномірності:

$$K_{\text{макс}} = Q_{\text{макс}}/Q_{\text{ср}}, \quad (1.5)$$

де  $Q_{\text{макс}}$ ,  $Q_{\text{ср}}$  - максимальне і середнє значення водоспоживання.

Мінімальний коефіцієнт нерівномірності

$$K_{\text{мін}} = Q_{\text{мін}}/Q_{\text{ср}}, \quad (1.6)$$

де  $Q_{\text{мін}}$  - мінімальне водоспоживання. В залежності від того, за який період часу береться  $Q_{\text{ср}}$ , коефіцієнти нерівномірності можуть бути годинними, добовими та іншими.

Режим надходження стічних вод до каналізаційних насосних станцій, так само як і станцій аерації, характеризується графіками надходження, які мають вигляд, схожий на графіки водоспоживання (рис. 1.4).

Для обґрунтованого рішення щодо доцільності використання регульованого електроприводу (РЕП) в насосній установці необхідно знати, як змінюється її режим роботи протягом весь розрахунковий період, наприклад, календарний рік. Добові графіки не надають такого уявлення, оскільки вони значно відрізняються один від одного, в залежності від часу року, дня тижня і т. д. Їх практично неможливо описати математичними рівняннями. Тому для аналізу режимів роботи насосних установок [3] доцільно використовувати криві розподілу подачі води або стоків, які називаються упорядкованими діаграмами подачі води, аналогічно до упорядкованих діаграм навантаження [9].

Під упорядкованою діаграмою розуміється крива, яка з'єднує розташовані в порядку зростання ординати добових графіків подачі води протягом тривалого періоду часу, наприклад, за рік (рис. 1.4). Для оцінки нерівномірності подачі в цьому випадку зручніше використовувати поняття "відносна мінімальна подача":

$$\lambda = Q_{\text{мін}}/Q_{\text{б}}, \quad (1.7)$$

де  $Q_{\text{мін}}$  - найменша подача в добу мінімального водоспоживання;  $Q_{\text{б}}$  - найбільша подача в добу максимального водоспоживання. Відносна мінімальна подача може бути виражена через коефіцієнти нерівномірності за відповідний період часу:

$$\lambda = K_{\text{мін}} / K_{\text{макс.}} \quad (1.8)$$

Режими роботи насосних установок промислових підприємств, головним чином, визначаються технологічним процесом підприємства. Існують режими водоспоживання та перекачування, аналогічні режимам роботи міських водопровідних і каналізаційних насосних станцій. Насосні установки промислових підприємств можуть працювати із виразно вираженим нічним і денним режимами водоспоживання.

Режими роботи теплофікаційних насосних установок і систем оборотного водопостачання суттєво залежать від температури зовнішнього повітря, а, отже, і від пори року, клімату та подачі.

Подача насосних установок, які працюють безпосередньо в мережу без проміжних ємностей, має бути у будь-який момент часу рівною водоспоживанню (з урахуванням витоків та непродуктивних витрат, які можуть сягати 15-20% загальної подачі). Тому подача насосної установки повинна бути трохи більшою за водоспоживання [10].

Зі зростанням водоспоживання потрібно збільшувати подачу, і відповідно збільшуються втрати тиску в трубах. Для компенсації їх необхідно підвищити тиск, який розвиває насосна установка. При зменшенні водоспоживання подачу та тиск слід зменшувати.

У минулому приведення водоспоживання та подачі відповідно було досягнуто зміною кількості працюючих насосних агрегатів або ступеня відкриття засувки (затворів) на напірних лініях насосів і насосних установках. В наш час частота обертання робочих коліс насосів регулюється за допомогою РЕП.

Режим роботи насосної установки, яка постачає воду споживачу через акумулюючий резервуар (резервуар, водонапірну вежу та інше), характеризується тим, що в окремі періоди часу подача насосної установки відрізняється від водоспоживання. Якщо подача більша за водоспоживання, рівень води в резервуарі підвищується, якщо менше - рівень падає. У випадку рівності подачі і водоспоживання рівень в резервуарі стабілізується на одному рівні. У цьому випадку, якщо немає РЕП, водоспоживання та подача насосної установки здійснюється включенням агрегату при зниженні рівня води до заданого нижнього значення і відключенням при досягненні заданого верхнього значення. Потім цей цикл повторюється [11].

Якщо насосна установка складається з кількох агрегатів, то її режим відрізняється тим, що задається кілька верхніх і нижніх рівнів, при досягненні яких змінюється кількість працюючих агрегатів.

Зі зростанням водоспоживання частота включень агрегатів збільшується, тривалість пауз зменшується, оскільки при збільшенні водоспоживання об'єм рідини в резервуарі швидше споживається [12]. При цьому рівень рідини швидше досягає нижнього положення, і, як результат, частіше включаються додаткові насоси [13].

Режим роботи насосних установок під час відкачування рідини з приймальних резервуарів, наприклад, КНС, схожий на попередній випадок, із відмінністю, що агрегати включаються у роботу при наповненні резервуарів до верхніх рівнів і відключаються при опорожненні до нижніх.

Кількість включень-відключень на добу насосних агрегатів у КНС з резервуарами може сягати 40-50, а в деяких випадках і 100. Така кількість включень для агрегатів великої потужності неприпустима, тому в установках з агрегатами потужністю понад 150-250 кВт.

Регулювання режиму роботи окремих насосів [14], які входять до складу КНС, виконується шляхом регулювання. Відцентрові насоси регулюються зміною ступеня відкриття засувки на напірній лінії або зміною частоти обертання робочих коліс (рис. 1.5).

Закриваючи засувку, збільшують крутизну характеристики трубопроводу, і при цьому робоча точка насоса  $A_1$  переміщується в положення  $A_2$ . У цьому випадку подача зменшується до значення  $Q_2$ , напір, який розвивається насосом, збільшується до значення  $H'_2$ , а напір на трубопроводі після засувки знижується до значення  $H_2$ . Зниження напору після засувки відбувається через втрати напору  $\Delta H$  в засувці.

Збільшуючи ступінь відкриття засувки, зменшують крутизну характеристики трубопроводу. Внаслідок цього подача збільшується, напір, який розвивається насосом, зменшується, а напір на трубопроводі після засувки збільшується. Цей спосіб регулювання, відомий як дроселювання, вважається неекономічним, оскільки для подолання додаткового гідравлічного опору в засувці потрібні додаткові енергетичні витрати [13].

Більш економічним способом регулювання є зміна частоти обертання насосів. При цьому змінюється положення на характеристиці подачі-напору насоса. Зменшуючи частоту обертання, переміщують характеристику насоса вниз. У цьому випадку робоча точка, переміщуючись по характеристиці трубопроводу, займає положення  $A_2'$ , отже, подача зменшується. Одночасно зменшується напір в мережі та напір, який розвивається насосом. Збільшення частоти обертання збільшує подачу і напір насоса, а також напір в мережі. Цей спосіб регулювання більш економічний, але вимагає використання регульованого електроприводу [14].

Регулювання режиму роботи відцентрованого насоса, який відкачує рідину з резервуара цим способом, здійснюється так. При збільшенні подачі рідини в резервуар рівень рідини піднімається. У цьому випадку ступінь відкриття засувки на напірній лінії насоса повинна бути збільшена. Зі зменшенням подачі рівень падає, і ступінь відкриття засувки повинна бути зменшена. У насосних установках, що подають воду в резервуари, при збільшенні водоспоживання рівень в резервуарі падає. У цьому випадку

засувки на напірних лініях трохи відкриваються. При зменшенні водоспоживання рівень піднімається, і засувка закривається [15].

Регулювання режиму роботи насоса, який відкачує рідину з резервуара, зміною частоти обертання робочого колеса, здійснюється таким чином. При збільшенні надходження рідини в резервуар рівень у ньому піднімається. У цьому випадку частота обертання робочого колеса насоса збільшується. При зменшенні надходження рівень падає, і частота обертання робочого колеса насоса зменшується [16].

Регулювання режиму роботи насоса, який подає воду в мережу, дроселюванням здійснюється наступним чином. При зниженні тиску в мережі напірна засувка насоса відчиняється, в результаті чого тиск в мережі зростає. При збільшенні тиску в мережі понад заданий напірна засувка насоса закривається, і тиск в мережі знижується. Контроль режиму роботи насосної установки здійснюється за допомогою вимірювальних пристроїв: манометрів, рівнемірів, витратомірів, амперметрів та інших. Зміна режиму роботи насосної установки впливає на режим роботи окремих насосних агрегатів, які складають установку. Аналіз режиму роботи насосних установок виконується з використанням характеристик насосів і трубопроводів.

Для установок з декількома насосами, які працюють паралельно або послідовно, використовують загальні характеристики декількох насосів. Під час паралельної роботи насоси подають воду в одну напірну лінію або в одну систему трубопроводів. Загальна характеристика  $H_{II}-II(Q)$  паралельно працюючих насосів будується шляхом додавання абсцисних значень їх характеристик при одному і тому ж значенні ординати (напору), так як їх загальна подача дорівнює сумі подач кожного насоса окремо.

Залежність між витратою рідини через трубопровід і напором, необхідним для забезпечення цієї витрати, називається характеристикою трубопровода  $E$  і описується рівнянням [3]:

$$H_c = H_{II} + SQ_2, \quad (1.9)$$

де  $H_c$  - напір на початку трубопроводу;  $S$  - гідравлічний опір трубопроводу;  $H_p$  - протидія, обумовлена різницею геодезичних позначок в системі або протидією в котлі і так далі.

У складній системі трубопроводів з розподіленим відбором води на кожному ділянці мережі, наприклад, у водопровідній мережі міста, характеристика цієї мережі не може бути описана рівнянням (1.8). Складна конфігурація мережі, щоденні зміни водоспоживання в мережі, зміна місця відбору води вздовж трубопроводу - все це впливає на сумарну втрату напору в водоводі і робить залежність  $H_c = f(Q)$  неоднозначною [4]. Тому залежність  $H_c = f(Q)$  має вигляд хмари точок, розташованих навколо параболічної кривої (рис. 1.6).

З аналізу цього малюнка видно, що одному і тому ж значенню подачі  $Q$  в різні часові періоди відповідають різні значення напорів  $H_c$ , які значно відрізняються одне від одного. Тому характеристика мережі трубопроводів не є однозначною залежністю  $H_c=f(Q)$ , схожою на характеристику окремого трубопроводу. Через це для вивчення режимів роботи насосних установок разом із мережею було введено поняття "еквівалентна характеристика" водопровідної мережі.

Під еквівалентною характеристикою розуміється усереднена залежність напорів, необхідних на напірному колекторі насосної станції для забезпечення нормального водопостачання в районі живлення. Під нормальним водопостачанням у цьому контексті розуміється підтримання заданих значень напорів в контрольних точках мережі, нижче яких вони не повинні опускатися в реальному діапазоні зміни водоспоживання. Еквівалентною характеристикою мережі можна користуватися для визначення загальних показників, які характеризують роботу водопроводу, наприклад, споживаної

енергії або економії енергії, а також можливого діапазону зміни подачі або потрібних напорів на виході з насосних станцій. Проте еквівалентна характеристика не може використовуватися для вирішення завдань оперативного характеру, наприклад, визначення потрібного напору в даний момент часу при певній подачі води [16].

Режим роботи групи насосів на кількох водоводах визначається перетином загальної характеристики  $H_I + H(Q)$  групи насосів з характеристикою системи трубопроводів. Цьому режиму відповідає точка 2 з координатами: подача  $Q_I + Q$ , напір  $H_I + H$  (див. рис. 1.6).

Насос працює найефективніше [17], якщо його подача і напір відповідають максимальному значенню ККД. Водночас допускається деяке відхилення робочих параметрів цих насосів від значень, вказаних у каталогах. Однак вони при цьому не повинні виходити за межі рекомендованих подач насоса, які позначаються кривими вертикальними лініями на характеристиках  $H(Q)$ . За цими межами насоси працюють з низькими значеннями ККД, при цьому можлива перевантаження насосного агрегату, а також існує ризик виникнення кавітації.

Порушення цілісності потоку рідини, супроводжується утворенням пазирів, заповнених парою рідини, газами або їх сумішшю, називається кавітацією. Кавітація в насосі виникає, коли існуючий позитивний нетто-напір на всмоктуючому патрубку насоса ( $NPSHA = \text{Net Positive Suction Head-Available}$ ) менше необхідного для насоса позитивного нетто-напору на всмоктуючому патрубку насоса ( $NPSHR = \text{Net Positive Suction Head-Receiving}$ ):  $NPSHA \leq NPSHR$ .

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

1. Насоси є невід'ємною частиною багатьох технічних систем та процесів, вони використовуються для перекачування рідини або газу з одного місця в інше. Важливими характеристиками насосів є їхні технічні параметри,

такі як потужність, продуктивність, тиск, обертова частота та ефективність. Розуміння цих параметрів допомагає інженерам та операторам вибирати правильний насос для конкретних завдань. Вибір насоса повинен враховувати робоче середовище, температурні умови, в'язкість рідини та хімічну сумісність з матеріалами насоса.

2. Відцентрові та осьові насоси є двома основними класами насосів, які використовуються для перекачування рідини. Вони мають різні конструкції та принципи роботи, що відповідають різним завданням та умовам. Вибір між ними залежить від конкретного завдання та умов роботи. Ефективний вибір насоса є критичним для забезпечення ефективності і надійності системи.

3. Режими роботи насосних установок включають постійну потужність, постійний тиск, постійну продуктивність і змінну потужність. Правильне управління режимами роботи насосних установок важливо для запобігання ризикам перевищення потужності, розриву обладнання та витратами надмірної енергії. Розробка і впровадження автоматизованих систем керування може допомогти оптимізувати режими роботи насосних установок, забезпечуючи їхню надійну та ефективну роботу.

## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ СТОКІВ АПК**

### **2.1 Вибір об'єкта дослідження**

Вибір об'єкта дослідження є важливим для проведення аналізу та дослідження енергоефективності насосних агрегатів для перекачування стоків. Для дослідження енергоефективності насосних агрегатів взята за основу продукція підприємства ПП «Полтавський ливарно-механічний завод».

Полтавський ливарно-механічний завод - металургійне підприємство, засноване в 1979 році. Потужність ливарного цеху - 2,5 тис. тон. Загальна площа - 5,5 га. Чисельність працюючих близько 400 чоловік. Юридична адреса: м. Полтава, вул. Ливарна 12, 36034, ЄДРПОУ 31495420.

Підприємство має закінчений цикл розробки, проектування і виробництва ґрунтових насосів, насосних установок і комплексних машин для гідротранспорту.

В тому числі підприємство має наступні підрозділи:

- конструкторсько-проектне бюро;
- ливарний цех;
- механічний цех;
- модельна ділянка (для виробництва оснастки);
- складальний цех;
- ділянка будівництва земснарядів.

Полтавський ливарно-механічний завод спеціалізується на випуску шламових, піскових насосів, шлакових та ґрунтових.

Продукція ПП «Полтавський ливарно-механічний завод» сертифікована, якість якої підтверджена органом сертифікації «Бюро Міжнародної Сертифікації».

Відповідність продукції, що випускається стандарту ISO 9001 означає, що оптимізація і ефективність процесів підтверджують відповідність менеджменту якості у всіх сферах діяльності та відповідно гарантує виробництво продукції, що відповідає за всіма показниками нормам міжнародних стандартів.

Для насосних агрегатів станцій, що перекачують стоки можуть бути використані різні типи насосів підприємства ПП «Полтавський ливарно-механічний завод». Розглянемо їх більш детально [15]:

1. Однокорпусні, дводискові. Такі насоси застосовуються у важких та особливо важких умовах роботи, як правило, це різна фракція та нестабільні умовами роботи (рис. 2.1). Виробляються у розмірності 10"-20".

Насос складається з одного корпусу та двох дисків (відомих як дводисковий насосний механізм), які відповідають за створення потоку рідини. Це може бути вугільні шахти, рудники, нафтові та газові видобуткові платформи, а також інші виробничі об'єкти, де важливо забезпечити надійну роботу в умовах збуреного середовища.

Такі насоси зазвичай мають підвищену надійність і здатні працювати в надзвичайно важких умовах без поломок. Здатні робити з нестабільними умовами роботи, що робить їх ідеальними для завдань, де рідини мають різну густину, тиск і температуру.

Ці насосні агрегати підходять для промислових умов, де вимагається висока продуктивність та надійність, а також можливість працювати з різними типами рідин та підвищеною зносостійкістю.

2. Двокорпусні, дводискові. Застосовуються для роботи у важких та особливо важких умовах роботи з різною фракцією та нестабільними умовами роботи (рис. 2.2). Виконуються у розмірності від 20" та вище.

Описані насосні агрегати – це двокорпусні, дводискові насоси, які призначені для роботи у надзвичайно важких умовах. Це означає, що вони

мають два корпуси та два диски (дводисковий насосний механізм), які створюють потік рідини. Вони призначені для роботи у важких та особливо важких умовах, де необхідна надійність та продуктивність.

Ці насоси зазвичай мають підвищену надійність і розроблені так, щоб витримувати важкі умови роботи та агресивні середовища. Вони спроектовані для роботи з різною фракцією рідини та нестабільними умовами роботи, що робить їх ідеальними для важких промислових завдань, де важлива надійність та великі об'єми перекачування. Ці двокорпусні, дводискові насоси використовуються у важких та особливо важких промислових умовах, де вимагаються надійність та висока продуктивність. Вони можуть бути важливим компонентом для забезпечення ефективності та безпеки виробничих процесів у таких галузях, як енергетика, гірничодобувна та нафтогазова промисловість.

## **2.2 Обґрунтування вибору насосного агрегату**

Для досягнення регулювання роботи насосів і забезпечення необхідного коефіцієнта корисної дії (ККД) використовують різні методи зміни характеристик системи насос-мережа. Це робиться з метою відповідати вимогам споживачів і забезпечувати необхідні параметри робочого середовища в умовах зміни робочих умов або відповідно до потреб технологічного процесу [17].

Ефективність цього регулювання має велике значення для економічних показників насосного обладнання, оскільки більше половини часу ці машини працюють в режимах, що не враховуються в розрахунках.

Регулювання насосів може бути розділене на дві основні групи [18]:

Регулювання за допомогою зміни характеристик системи, таке як вибір відповідної трансмісії, такої як пряма передача (муфтове з'єднання) або шків-пасова передача (з'єднання насоса та двигуна через комплекти шківів та пасів).

Регулювання за допомогою зміни характеристик самого насоса, таке як зміна частоти обертання, форми і розмірів проточної частини, або частковий відбір рідини з проміжної системи.

Вибір методу регулювання залежить від багатьох факторів [19], включаючи потребу у регулюванні, характеристики системи, особливості приводу насоса, тривалість роботи в нерозрахункових режимах, ефективність методу регулювання і вартість системи.

Регулювання за допомогою трансмісії є простим і надійним методом, який полягає в виборі певного типу трансмісії перед насосом або підключенні до мережі за насосом вибраної трансмісії, яку можна змінити за необхідності. Проте ефективність цього методу знижується при збільшенні діапазону регулювання подачі [20].

Регулювання зміною проточної частини насоса базується на можливості зміни напору при заданій продуктивності шляхом зміни окружних складових швидкостей на вході та виході робочих елементів. Цей метод також включає в себе зниження газодинамічних втрат у лопаткових апаратах та інших елементах під час роботи насоса на нерозрахункових режимах шляхом підтримки оптимальних кутів натікання потоку на вхід в ці елементи [21].

Регулювання поворотом напрямних лопаток в осьових насосах або застосуванням спеціальних радіальних вхідних регульованих апаратів в відцентрових насосах є популярним методом. Основним методом зміни геометрії проточної частини насоса є зміна частоти обертання, форми і розмірів проточної частини, а також частковий відбір рідини з проміжної системи. Існують інші способи зміни геометрії, такі як поворот лопаток дифузора або зміна ширини безлопаткової ділянки перед дифузором, але їх застосування обмежене через конструктивну складність [15].

Застосування синхронних електродвигунів, особливо на потужностях понад 200 кВт, може бути вигідним для регульованого електроприводу. Асинхронні електродвигуни є надійними та ефективними електроприводами для нерегульованих застосувань. Для регульованих систем використовуються

асинхронні електродвигуни з шківо-пасовою передачею, що є економічним та ефективним методом керування. Шківо-пасова передача дозволяє досягти економії електроенергії до 50%, зменшення витрат на транспортування продукту та зниження аварійності мереж та обладнання.

Шківо-пасова передача має численні переваги, такі як економія електроенергії, зменшення аварійності, зниження рівня шуму, зручність автоматизації та можливість впровадження без складних реконструкцій.

Вибір методу регулювання залежить від конкретних умов і вимог технічного завдання. Технічне завдання дозволяє визначити необхідні технічні параметри та вибрати насосне обладнання, яке працюватиме найефективніше при заданих умовах. Технічні служби та комп'ютерні програми визначають оптимальний тип трансмісії та електроприводу для досягнення необхідної продуктивності та ККД [5].

### **2.3. Обґрунтування технічних параметрів розрахунку електроприводу насосного агрегату**

Кінематичний розрахунок приводу є важливим етапом у визначенні руху і передачі обертового моменту в системі. Для досягнення оптимальних результатів у розрахунку електроприводу, слід дотримуватися наступних кроків [1, 4, 12]:

Визначення типу приводу: Перш за все, потрібно визначити тип приводу, який найкраще відповідає вашим потребам, будь то механічний (з використанням шестерень, ланцюгів тощо), гідравлічний або електричний.

Аналіз компонентів приводу: Ретельно розгляньте всі компоненти приводу, такі як вали, шестерні, зубчасті колеса, гідравлічні циліндри, електродвигуни тощо. Важливо визначити їх параметри, такі як діаметр валів, розмір шестерень і так далі.

Визначення вихідних та вхідних швидкостей: Встановіть необхідну вихідну швидкість обертання для вашого приводу (наприклад, оберти валу насосу) та вхідну швидкість (наприклад, оберти валу електродвигуна).

Визначення передачі обертального моменту: Визначте обертальний момент, який потрібно передати від приводу до робочого механізму (наприклад, насосу). Цей параметр може бути виражений в одиницях Нм (ньютон-метри) або фунт-футах.

Визначення передачі: Виберіть або розрахуйте передачу (відношення швидкостей або обертального моменту) для вашого приводу. Вибір передачі зазвичай базується на аналізі вимог технічного завдання.

Розрахунок швидкостей та обертального моменту: За допомогою обраної передачі розрахуйте вихідні швидкості та обертальний момент на виході з приводу.

Перевірка передачі обертального моменту: Переконайтеся, що передача обертального моменту відповідає вимогам вашого додатку, тобто чи досягає обертальний момент на виході відповідного значення.

Аналіз ефективності: Проведіть аналіз ефективності приводу, враховуючи втрати енергії та інші фактори, які можуть вплинути на продуктивність системи.

Оптимізація та корекція: У разі необхідності оптимізуйте вашу передачу або змініть компоненти приводу для відповідності вимогам.

Розробка схеми приводу: На основі кінематичних розрахунків розробіть схему приводу, яка включає всі компоненти та їх взаємозв'язки. Враховуйте розташування електродвигунів, шестерень, валів та інших елементів.

Вибір компонентів: Виберіть конкретні компоненти для вашої схеми приводу, такі як електродвигуни, шестерні, ланцюги, зубчасті колеса, гідравлічні циліндри тощо. Враховуйте бренд, модель та параметри кожного компонента.

Розрахунок навантаження на підшипники та валі: Визначте навантаження, яке діє на підшипники та вали приводу і перевірте, чи вони витримують це навантаження [8].

Проведення тестів імітації роботи: Перед реальною установкою використовуйте тести імітації роботи, щоб переконатися, що ваша схема приводу працює правильно та відповідає вимогам додатку.

Підготовка до монтажу і налагодження: Після успішних тестів імітації роботи готуйтеся до монтажу та налагодження всіх компонентів приводу в системі.

Ці кроки допоможуть вам розрахувати та реалізувати ефективний привід для вашого насосного агрегату, відповідно до конкретних вимог вашого технічного завдання. Пам'ятайте, що правильний кінематичний розрахунок приводу є важливою умовою для забезпечення надійності та продуктивності системи.

Потужність електродвигуна визначається:

$$P_{\text{тр.}} = P_3 / \eta_{\text{заг.}}, \quad (3.1)$$

де  $\eta_{\text{заг.}}$  – загальний коефіцієнт корисної дії;  $\eta_{\text{заг.}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^2$ ;  $\eta_1$  – коефіцієнт корисної дії клинопасової передачі,  $\eta_2$  – коефіцієнт корисної дії конічної закритої передачі,  $\eta_3$  – коефіцієнт корисної дії двох підшипників кочення.

Потужність на кожному валу приводу може бути визначена.

Для проміжного валу приводу

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3, \quad (3.2)$$

Для ведучого валу приводу (уточнене значення)  $P_3 = P_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3$ ,

Передавальні числа приводу.

Загальне передатне відношення:

$$U_{\text{заг.}} = \omega_1/\omega_3, \quad (3.3)$$

$\omega_1$  – кутова частота обертання провідного валу приводу.

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30},$$

$n_1$  – число оборотів провідного валу приводу,

$$n_1 = n_c \cdot (1-S),$$

де  $S$  – ковзання

Розбиваємо загальне передатне відношення по ступенях приводу.

$$U_{\text{заг.}} = U_1 \cdot U_2, \quad (3.4)$$

де  $U_1$  – передавальне число клинопасової передачі;  $U_2$  – передавальне число конічної закритої передачі.

$$U_1 = \frac{U_{\text{заг.}}}{U_2}, \quad (3.5)$$

Кутова частота обертання кожного валу приводу.

Для проміжного валу приводу

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{U_1}, \quad (3.6)$$

Для ведучого валу приводу (уточнене значення).

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{U_2}, \quad (3.7)$$

Частота обертання кожного валу приводу

Для проміжного валу приводу

$$n_2 = \frac{n_1}{U_1}, \quad (3.8)$$

Для ведучого валу приводу

$$n_3 = \frac{n_2}{U_2}, \quad (3.9)$$

Обертальні моменти на кожному валу приводу.

Для провідного валу приводу

$$T_1 = \frac{P_1 \cdot 10i}{\omega_1}, \quad (3.10)$$

Для проміжного валу приводу

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot 10i}{\omega_2}, \quad (3.11)$$

Для ведучого валу приводу

$$T_3 = \frac{P_3 \cdot 10i}{\omega_3}, \quad (3.12)$$

Таким чином наведена методика розрахунку параметрів електроприводу: потужність, частота обертання, обертальні моменти і т.д.

## 2.6 Висновки до розділу 2

1. Здійснено аналіз об'єкта дослідження та наведена номенклатура насосних агрегатів для перекачування стоків на насосних станціях в залежності від технічних особливостей конструктивного виконання.

2. Вибір та обґрунтування методу регулювання залежить від конкретних умов і вимог, що дозволяє визначити необхідні технічні параметри та вибрати насосне обладнання для заданих умовах використання.
3. Використання кінематичного розрахунку приводу є важливим етапом для досягнення оптимальних результатів у розрахунку електроприводу.

### **3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ**

#### **3.1 Методика вибору марки та кількості насосних агрегатів**

Обладнання та трубопроводи повинні бути вибрані в залежності від розрахункового стоку на очисну станцію, фізико-хімічних властивостей стічних вод, висоти підйому та з урахуванням характеристик насосів та напірних трубопроводів.

*Визначення продуктивності насосів [8].*

Максимальний розряд насосної станції приймають рівним найбільшому годинному стоку стічних вод  $q_m$ , м<sup>3</sup>/год, або трохи більше, ніж це значення. Спершу визначається добовий розхід стічних вод, м<sup>3</sup>/добу, за формулою:

$$Q = \frac{q_m \cdot N_m}{1000} \quad (3.1)$$

де  $q_m$  - водовідведення на 1 мешканця, л/(люд·добу);  $N_m$  - кількість мешканців, люди.

Середньо годинний розхід  $q_{midl}$ , м<sup>3</sup>/год, обчислюється:

$$q_{midl} = \frac{Q}{T}, \left[ \frac{m^3}{ч} \right] \quad (3.2)$$

де  $T$  - тривалість роботи насосної станції протягом доби, годин.

*Визначення напору насосів.*

Необхідний напір  $H_{тр}$ , м, значення якого потрібно для вибору насосів, визначається за формулою:

$$H_{тр} = H_{г} + h_{вод} + h_{н.с.} + h_{св}, \quad (3.3)$$

де  $H_{г}$  - геометрична висота підйому стічних вод; рівна різниці відміток максимального рівня води в приймальній камері очисних споруд і середнього рівня води в приймальній резервуарі насосних станцій.

Для подачі стічних вод вибираємо: трубопровід зі зварних труб діаметром (ГОСТ 10704-91 і ГОСТ 8696-74)  $D=400$  мм, швидкістю  $v=0,96$  м/с і гідравлічним нахилом  $i=0,0032$

#### *Вибір марки насосів та типового проекту КНС*

При виборі марки насосів та визначенні кількості робочих агрегатів потрібно керуватися такими положеннями:

- необхідно встановлювати якнайменше робочих і резервних насосів, забезпечуючи при цьому потрібні режими роботи;

- насоси повинні працювати в області найвищого ККД при тривалому режимі роботи. Короткочасні витрати можуть подаватися з меншим ККД;

- цілком доцільно встановлювати на насосних станціях однотипні насоси, що забезпечує їх взаємозамінність, значно спрощує експлуатацію та створює зручності для обслуговування;

- сумарний розрахунковий розряд групи робочих насосів КНС дорівнює максимальному або трохи більше годинного стоку стічних вод в приймальній резервуар.

Якщо прийняти два робочих насоса в КНС, то розряд  $Q_1$ , м<sup>3</sup>/год, одного насоса складе:

$$Q_1 = \frac{q_w}{2}, \left[ \frac{м^3}{ч} \right] \quad (3.4)$$

У складі електронасосного агрегату є насос та електродвигун, які встановлені на одній рамі.

Згідно з вимогами [1], наприклад при двох робочих насосах для КНС встановлюється один резервний насос. Отже, КНС буде обладнана трьома насосами

### **3.2 Вибір і розрахунок всмоктуючих і напірних трубопроводів всередині КНС**

Згідно з типовим проектом КНС і розмірами приймального резервуара та машинного зала складається аксонометрична схема технологічних трубопроводів всередині КНС.

Кожен насос має всмоктуючий і напірний трубопроводу [11]. Зі станції насосів передбачено два протилежно розташованих виходи, які об'єднують напірні трубопроводу. Обв'язка насосів виконується зі сталевих електрозварних труб (ГОСТ 10704-91) з використанням сталевих фасонних частин для зварювання і фланцевих з'єднань для підключення до патрубків насосів і фітингів.

Діаметр трубопроводів визначається гідравлічним розрахунком з урахуванням допустимих швидкостей в трубах [1]. Діаметри всмоктуючих і напірних трубопроводів від кожного насоса визначаються відповідно до продуктивності одного насоса.

Діаметр об'єднувального напірного трубопроводу визначається на основі продуктивності каналізаційної насосної станції [13].

При розрахунку втрат напору всередині насосної станції вибирається розрахунковий відрізок трубопроводу максимальної довжини: від приймального резервуара до виходу з об'єднуючого напірного трубопроводу з насосної станції.

Тоді кількість стічних вод, які пройдуть по всмоктуючому та напірному трубопроводам кожного насоса ( $q_1$ ), буде обчислюватися за формулою:

$$q_1 = \frac{q_{\text{розр}}}{N} \quad (3.5)$$

де  $N$  - кількість робочих насосів, штук.

При визначенні втрат напору всередині насосної станції обирається розрахунковий ділянка трубопроводів найбільшої протяжності: від приймального резервуара до виходу об'єднуючого напірного трубопроводу з насосної станції.

Втрати напору всередині насосної станції обчислюються за формулою:

$$h_{\text{н.с}} = h_{\text{вс}} + h_{\text{нап}}, \quad (3.6)$$

де  $h_{\text{вс}}$  - втрати в всмоктуючому трубопроводі, м, обчислені як:

$$h_{\text{вс}} = i l_{\text{вс}} + \sum \xi \frac{V_{\text{вс}}^2}{2g} \quad (3.7)$$

де  $L_{\text{вс}}$  - довжина всмоктуючої лінії, м;  $\xi$  - коефіцієнт місцевого опору;  $V_{\text{вс}}$  - швидкість руху рідини в всмоктуючому трубопроводі при обраному діаметрі і обчисленому розході.

Втрати напору в напірному трубопроводі обчислюються як:

$$h_{\text{вс}} = i l_{\text{нап}} + \sum \xi \frac{V_{\text{нап}}^2}{2g} \quad (3.8)$$

де  $L_{\text{нап}}$  - довжина напірного трубопроводу всередині КНС;  $\xi$  - коефіцієнт місцевого опору;  $V_{\text{нап}}$  - швидкість руху стічних вод в напірному трубопроводі.

Місцеві втрати напору в напірному трубопроводі складаються з втрат напору в переході, зворотному клапані, чотирьох або більше відгалужень, чотирьох засувок та тройнику при розділенні потоку в напрямку руху рідини.

Отже, загальні втрати напору всередині насосної станції обчислюються за формулою:

$$V = \frac{4 \cdot q_{расч}}{\pi \cdot D^2} \quad (3.9)$$

Загальні втрати напору всередині насосної станції можуть бути визначені за формулою:

$$H_{заг} = h_{вс} + h_{нап} \quad (3.10)$$

### 3.3 Спільна робота насосних агрегатів та трубопроводів

Фактичний розхід стічних вод, що надходять до КНС, визначається графічним способом шляхом накладання робочих характеристик (Q-H) двох насосів на графічну характеристику системи трубопроводів Q-H<sub>тр</sub>, на яку працюють насоси [17].

Характеристики (Q-H)<sub>1+2</sub> обраних насосів беруться на основі даних, а характеристики при паралельній роботі (Q-H) будуються згідно з прийнятими правилами [3].

Характеристики системи трубопроводів Q~H<sub>тр</sub> будуються за рівнянням:

$$H_{тр} = H_{г} + SQ^2, \quad (3.11)$$

де H<sub>тр</sub> - необхідний напір у системі, м; H<sub>г</sub> - геометрична висота підняття стічних вод із приймального резервуара насосної станції до приймальної камери очисних споруд; Q - подача насосної станції, м<sup>3</sup>/с:

$$Q = qw \quad (3.12)$$

S - гідравлічний опір у системі:

$$S = \frac{H_{\text{вод}} + h_{\text{н.с.}} + h_{\text{св}}}{Q^2} \quad (3.13)$$

де  $H_{\text{вод}}$  - втрати напору в напірному трубопроводі від насосної станції до очисних споруд;  $h_{\text{н.с.}}$  - втрати напору всередині насосної станції (виправлені);

Потім обчислюються координати точок кривої Q-Нтр при зміні розходу стічних вод від нуля до максимального значення з інтервалом.

Це завершує опис розрахунку системи трубопроводів та насосів для каналізаційної насосної станції.

### 3.4 Визначення об'єму приймального резервуара

Об'єм приймального резервуара визначається в залежності від режиму надходження і відкачування стічних вод, а також допустимої кількості включень електрообладнання протягом 1 години [1].

Об'єм приймального резервуара,  $\text{м}^3$ , повинен бути не менше об'єму, який дорівнює п'ятихвилинному максимальному видозміну одного із насосів  $Q_1$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

$$W = \frac{Q_1 \cdot 5}{60}, \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right]_{\text{min}} \quad (3.14)$$

При розрахунковому об'ємі приймального резервуара і мінімальному та середньому надходженні стічних вод в приймальний резервуар необхідно визначити кількість включень насосних агрегатів протягом 1 години.

Якщо вважати, що на початку години приймальний резервуар був порожнім і насос не працював, то точка, якась А визначає момент повного наповнення резервуара. У цей момент включається насос, який відкачує як накопичену в резервуарі рідину, так і ту, що надходить в цей період часу. У цей момент резервуар знову повністю опорожняється, і насос вимикається.

Момент включення та інтегральний графік відкачування стічних вод в друге і третє включення будуються аналогічно. Насос, як правило буде включатися три рази на годину, тобто виконано обмеження на кількість включень насосних агрегатів протягом 1 години.

Згідно з типовим проектом об'єм приймального резервуара складає 230-250 м<sup>3</sup>, що відповідає 30-хвилинній продуктивності одного насоса типу СМ 250-200-400а/б.

Дно приймального резервуара має нахил до приймача, в якому розташовані воронки всмоктуючих трубопроводів. Приймальний резервуар обладнаний пристроєм для збурювання та змиву осаду. Подача води на збурювання регулюється вентилем. Для змиву осаду зі стін і дна резервуара передбачено поливочний кран, обладнаний гумовою рукавом з текстильним каркасом. Вода до поливочного крану надається з системи гідроуплотнення ущільнень основних насосів СМ 250-200-400а/б. Спуск до приймального резервуара здійснюється через спеціальний люк по ходових скобах.

### **3.5 Вибір електродвигунів**

Для приводу каналізаційних насосів використовуються асинхронні електродвигуни [17, 19].

Вибір електродвигунів залежить від необхідної потужності та обертової частоти ротора. Обертובה частота ротора електродвигуна відповідає обертовій частоті робочого колеса насоса.

Необхідна потужність електродвигуна  $N_{дв}$ , кВт, визначається за формулою:

$$N_{дв} = N_{н} * K_3 \quad (3.15)$$

де  $N_H$  - потужність насоса, кВт;  $K_3$  - коефіцієнт запасу для можливих перевантажень,  $K_3 = 1,2$ . Потужність насоса  $N_H$ , кВт, визначається за формулою:

$$N_H = \frac{\gamma \cdot Q_1 \cdot H}{102 \cdot \eta_H} \quad (3.16)$$

де  $Q_1$  - розрахунковий витік, м<sup>3</sup>/с;  $H$  - розрахунковий напір насоса, м;  $\gamma$  - об'ємна вага рідини, кг/м<sup>3</sup> (для води 1000 кг/м<sup>3</sup>);  $\eta_H$  - ККД насоса, приймається з характеристики для оптимального режиму роботи насоса (у долях одиниці).

### 3.6 Вибір трансформатора і схеми електроживлення

Для забезпечення електроенергією насосних агрегатів, електрифікованих засувок та іншого обладнання КПС поблизу насосної станції розміщується трансформаторна підстанція. До складу обладнання підстанції входять: силові трансформатори, розподільчі пристрої високої і низької напруги та ряд допоміжних пристроїв.

$$S_T = K_c \cdot \sum \frac{N_{дв}}{\eta_{дв} \cdot \cos \phi} + N_{ДОД} \quad (3.17)$$

де  $K_c$  - коефіцієнт попиту, залежить від кількості робочих агрегатів станції;  $\eta_{дв}$  - ККД електродвигуна;  $\cos \phi$  - коефіцієнт потужності, залежить від розміру електродвигуна;  $N_{дв}$  - розрахункова паспортна потужність електродвигуна, кВт;  $N_{ДОД}$  - додаткова потужність, кВт, використовується для освітлення, роботи електроприводів, засувок дренажних насосів, механізованих гребель та інших споживачів,  $N_{ДОД} = 15$  кВт. У суму потужностей електродвигунів не входить потужність резервних агрегатів:

$$S_T = K_c \cdot \left( \frac{2 \cdot N_{дв}^{CM}}{\eta \cdot \cos \phi} + \frac{N_{дв}^{2НОМ}}{\eta \cdot \cos \phi} + \frac{N_{дв}^{БК}}{\eta \cdot \cos \phi} \right) + N_{доп} \quad (3.18)$$

За потужністю трансформатора, напругою в лінії передачі електроенергії, та напругою прийнятих двигунів вибираються силові трансформатори: один робочий, інший резервний.

### **3.7 Допоміжне обладнання**

На насосній станції, крім робочих насосних агрегатів, розміщують дренажні насоси та насоси для гідрозатиску, грузопідйомний пристрій та водомірні прилади.

Грузопідйомний пристрій забезпечує монтаж та демонтаж обладнання КНС. Його тип визначається максимальною вагою встановлюваного обладнання (насоса та електродвигуна) і конфігурацією приміщення станції в плані.

Для монтажу та демонтажу решіток та дробилки в надземній частині приймального резервуара передбачено ручний маневровий черв'ячний тельфер. Для монтажу та демонтажу насосів з електродвигунами та проведення ремонтних робіт в машинному залі передбачено: в надземній частині - електричний тельфер; в підземній частині - ручний однобалочний мостовий кран. У машинному залі для зменшення зносу основних насосів передбачено гідравлічне ущільнення манжетів водопровідної води. Для збору води з миття підлог та аварійних розливів передбачений зливний жолоб, що закінчується приймальником. Для відкачки води з приймальника, а також у разі затоплення силових насосних агрегатів при аваріях в межах машинного зала передбачена установка насосів, які працюють в автоматичному режимі.

### **3.8 Висновки до розділу 3**

1. Розглянута методика, яка допомагає визначити оптимальну марку і кількість насосних агрегатів для забезпечення необхідного об'єму робочої рідини і вимог до ефективності системи.
2. Вибір марки насосних агрегатів залежить від конкретних вимог і умов, в яких система буде функціонувати. Розглядаються фактори, такі як тип робочої рідини, тиск, витрати, температура і хімічні властивості.
3. Оптимізація кількості насосних агрегатів може включати розгляд альтернативних рішень, таких як використання змінної швидкості агрегатів або встановлення багатокаскадних систем для більшої ефективності.
4. Вибір марки та кількості насосних агрегатів важливий етап проектування системи, і він має враховувати не тільки технічні аспекти, але і економічні фактори, такі як вартість устаткування, експлуатаційні витрати і терміни окупності.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНІ СТАНЦІЇ

### 4.1 Гідрравлічна схема насосної станції

Гідрравлічна схема насосної станції - це інженерний план, який визначає всі гідрравлічні елементи та їх зв'язки у системі насосів і трубопроводах [10]. Ця схема допомагає візуалізувати роботу насосної станції і її компоненти. Головною метою гідрравлічної схеми є забезпечення правильної функціональності та ефективності всієї системи.

На гідрравлічній схемі насосної станції зазвичай вказуються такі елементи: насоси (розташування та тип); трубопроводи, які з'єднують насоси, резервуари та інші елементи системи; регулятори тиску; резервуари або баки, де зберігається робоча рідина перед подачею чи після відкачування; вимірювальні прилади, які допомагають контролювати та вимірювати параметри системи; інші спеціалізовані елементи - фільтри, вентилі, відводи та інші, які можуть бути необхідними для проекту.

*Розрахункова подача насосної станції.* Розрахункова подача визначається з таблиці 4.1.

*Тиск насосів.* Вибираються трубопроводи для всмоктуючої та напірної ліній. Кількість всмоктуючих ліній і напірних ліній згідно з [2] повинна бути не менше двох. Виконується гідрравлічний розрахунок трубопроводів (таблиця 4.2), з урахуванням того, що всмоктуючі труби визначаються на витрату 840 л/с, а напірні на подачу  $Q_H = 840/2 = 420$  л/с. Вибираються труби відповідно до [2], матеріал - сталь, діаметри визначаються за [3].

*Всмоктуючі водопроводи:*

Втрати в всмоктуючих водопроводах,  $h_{вс}$ , м, обчислюються за формулою

$$h_{bc} = \sum \xi_{bc} \cdot (V_{bc})^2 / 2g + 1000 \cdot i \cdot L_{bc}, \quad (4.1)$$

де  $\sum \xi_{bc}$  - місцеві опори - плавний вхід у трубу, відвод та засувка,

$$\sum \xi_{bx} = 0,2 \text{ м}, \sum \xi_o = 0,6 \text{ м}, \sum \xi_3 = 0,2 \text{ м} = 0,2 + 0,6 + 0,2 = 1,0 \text{ м};$$

$L_{bc}$  - довжина всмоктуючого водопроводу,  $L_{bc} = 0,14 \text{ км}$ .

$$h_{bc} = 11,312 / (210) + 1,22 \cdot 0,14 = 0,256 \text{ м}.$$

*Напірний водопровід:*

Втрати в напірних водопроводах  $h_n$ , м, складають

$$h_n = K \cdot 1000 \cdot i \cdot L_n, \quad (4.2)$$

де  $K$  - коефіцієнт, який враховує місцеві втрати,  $K=1,1$ ;

$L_n$  - довжина напірного водопроводу,  $L_n = 8,6 \text{ км}$ .

Визначення напорів подано в таблиці 4.3

Сума втрат буде дорівнювати:

$$\sum h = h_n + h_{bc} + h_{m3} + h_c + h_{вдм}, \quad (4.3)$$

де  $h_{m3}$  - втрати напору в межах машинного залу,  $h_{m3}=3 \text{ м}$ ;  $h_c$  - втрати в мережі

міста,  $h_c=15,1 \text{ м}$ ;  $h_{вдм}$  - втрати в діафрагмі, визначені за формулою

$$h_{вдм} = (1/m^2 - 1)(1 - m) \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (4.4)$$

де  $m$  - відносне звуження потоку діафрагмою,  $m=0,2 \text{ м}$ .

$$h_{\text{вдм}} = (1 / (0,2)^2 - 1)(1 - 0,2) \cdot \frac{(1,07)^2}{2 \cdot 10} = 3,84 \text{ м.}$$

$$\Sigma h = 18,3 + 0,3 + 3 + 15,1 + 3,84 = 40,54 \text{ м.}$$

## 4.2 Розрахунок характеристик водопровідної мережі

Характеристики водопровідної мережі мають вигляд

$$H_c = H_{\text{ст}} + \Sigma h = H_{\text{ст}} + KQ^2, \quad (4.5)$$

де  $H_{\text{ст}}$  - висота підйому води, м;  $\Sigma h$  - сума втрат напору, м;  $K = \Sigma h/Q^2$  - коефіцієнт опору водопровідної мережі. При подачі води в контррезервуар (транзит) та для гасіння пожеж втрати напору визначаються за формулами:

$$\Sigma h^{\text{тр}} = \Sigma h(Q^{\text{тр}}/Q_{\text{макс}})^2, \quad (4.6)$$

$$\Sigma h_{\text{п}} = \Sigma h(Q^{\text{п}}/Q_{\text{макс}})^2; \quad (4.7)$$

де  $Q_{\text{макс}}$  - максимальна подача станції;  $Q_{\text{макс}}=0,840$  л/с;

$Q_{\text{тр}}$  - подача станції при транзиті;  $Q_{\text{тр}}=0,458$  л/с;

$Q_{\text{п}}$  - подача станції при пожежі;  $Q_{\text{п}}=0,915$  л/с;

$\Sigma h$  - втрати напору, м.

Коефіцієнти опору водопровідної мережі будуть дорівнювати:

$$K_{\text{р}}=40,54/0,840^2=57,45 \text{ с}^2/\text{м}^5,$$

$$K_{\text{тр}}=12,07/0,458^2=57,54 \text{ с}^2/\text{м}^5,$$

$$K_{\text{пож}}=48,10/0,915^2=57,45 \text{ с}^2/\text{м}^5,$$

$$K_{\text{ав}}=68,44/0,588^2=197,94 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

## 4.3 Вибір насосів

Кількість робочих насосів підібрано, керуючись співвідношенням:

$$n=Q_{\max}/Q_{\min}, n=840/458,3=1,83\approx 2 \text{ насоса}$$

За розрахунковою подачею  $Q_{\text{доб.макс}} = 840$  л/с та напором  $H_{\text{н}}=86,64$  м приймаються насосні агрегати Д2000-100,  $n = 960$  об/хв,  $D=855$  мм, два робочих з подачею  $Q_{\text{н}}=840/2=420$  л/с та два резервних згідно з [2], рівняння напірної характеристики  $H=121-75Q^2$ .

Правильність вибору насосів перевіряється рівнянням:

$$H_{\text{н}}=H_{\text{с}}. 46,1+57,45Q^2=121-75Q^2/4, Q=991 \text{ л/с}, H=102,6 \text{ м.}$$

$$\Delta Q=(Q_{\text{д}}-Q_{\text{р}})/Q_{\text{р}} \cdot 100\%=(991-840)/840 \cdot 100\%=17,9\%.$$

$$\Delta H=(H_{\text{д}}-H_{\text{р}})/H_{\text{р}} \cdot 100\%=(102,6-86,6)/86,6 \cdot 100\%=18,5\%.$$

Оскільки  $Q_{\text{д}}$  перевищує  $Q_{\text{р}}$  більше ніж на 10%, то насоси піддаються обточці робочих коліс.

Діаметр обточеного колеса  $D_{\text{обт}}$ , мм, визначається за формулою

$$D_{\text{обт}} = \frac{Q_{\text{обт}} \cdot D}{Q_{\text{под}}}, \quad (4.8)$$

де  $Q_{\text{обт}}$  – подача насоса з обточеним колесом;

$Q$  – подача насоса зі своїм колесом;

$D_{\text{обт}}$  - діаметр обточеного робочого колеса.

Значення  $Q_{\text{под}}$  знаходять з рівняння:

$$H_{\text{н}} = KQ^2, \quad (4.9)$$

де  $H = KQ^2$ , її постійна  $K = \frac{H_{\text{н}}}{Q_{\text{max}}^2}$ .

$$K=122,7 \quad 121-75Q^2/4=122,7 \quad Q^2 \Rightarrow Q_{\text{под}} = 0,925 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$D_{\text{обт}} = 0,860 * 855 / 0,925 = 795 \text{ мм}.$$

У характеристиці насоса з  $D_{\text{обт}}$  початкову ординату  $a_{0\text{обт}}$  обчислюють з відношення  $H_{\text{обт}}=H_c$ , звідки

$$a_0 - 75 Q^2/4 = 46,1 + 57,45 Q^2 \Rightarrow a_0 = 100 \text{ м}.$$

$$\text{Отримаємо } H=100 - 75Q^2.$$

*Потужність електродвигуна.*

Потужність електродвигуна знаходиться за формулою:

$$N_{\text{дв}} = K_{\text{рз}} g Q_1 H_1 / 1000 \eta_n, \quad (4.10)$$

де  $Q_1$ ,  $H_1$  - подача і напір одного насоса;  $\eta_n$  – ККД насоса при подачі,

$Q_n=420$  л/с,  $\eta_n = 73\%$ ;  $K$  – коефіцієнт запасу;

$$N_{\text{дв}} = 1,110009,842086,6/1000 * 0,73 = 537 \text{ кВт}.$$

До розмірів рами додано по 100 мм на кожному боці - це монтажне п'ятно  $3272 \times 1600$  мм (рисунок 4.4).

#### 4.4 Вибір трансформаторів та підбір дренажних насосів

Потужність силових трансформаторів  $S$ , кВ·А, визначається за формулою:

$$S = \frac{K_c \cdot \sum N}{\eta_{\text{дв}} \cdot \cos \phi} + (10 \dots 50), \quad (4.11)$$

де  $K_c$  - коефіцієнт споживаної потужності,  $K_c = 1,1$  (при потужності понад 300 кВт);

$\sum N$  - потужність електродвигунів основних насосів (без резервних), кВт;

$\eta_{дв}$  - коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна,  $\eta_{дв} = 0,9-0,95, = 0,95$ ;

$\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності електродвигуна,  $\cos \varphi = 0,85-0,9$ ;  $\cos \varphi = 0,9$ ; 10...50 – навантаження від допоміжного обладнання та освітлення,

$$S = \frac{1,1 \cdot (2 \cdot 630)}{0,95 \cdot 0,9} + 50 = 1671, \text{кВ} \cdot \text{А}.$$

Приймається два силових маслонаповнених трансформатора ТМ 1000/6-10 з масою кожного 3300 кг, довжиною 1660 мм, шириною 2570 мм і висотою 2570 мм.

*Підбір дренажних насосів.* Подача дренажних насосів визначається за формулою:

$$Q_d = (1,5 \dots 2)(\sum q_1 + q_2), \quad (4.12)$$

де - сумарні витрати через ущільнювачі,  $q_1 = 0,1$  на один ущільнювач, ущільнювачів 12;  $\sum q_1 = 0,1 \cdot 12 = 1,2$  л/с;  $q_2$  – фільтрація через стіни та підлогу, визначається:

$$q_2 = 1,5 + 0,001W, \quad (4.13)$$

де  $W$  - об'єм підземної частини машинного зала =  $1820 \cdot 12 = 4320 \text{ м}^3$ ;

$$q_2 = 1,5 + 0,001 \cdot 4320 = 5,82 \text{ л/с}.$$

Приймаються два дренажних насоса марки ВКС 10/45, характеристики яких подані в таблиці 4.6.

## 4.5 Розрахунок параметрів насосної станції

Рівняння характеристик водопровідної мережі при максимальному водоспоживанні, роботі станції на один або півтора водовода:

$$\sum h = h_n + h_{вс} + h_{мз} + h_c + h_{вдм} = 18,3 + 0,3 + 0,86 + 15,1 + 3,84 = 38,4 \text{ м,}$$

$$\Sigma h_{\Pi} = \Sigma h(Q_{\Pi}/Q_{\text{макс}})^2 = 38,4 \cdot (915/840)^2 = 45,5 \text{ м,}$$

$$\Sigma h_{\text{тр}} = \Sigma h(Q_{\text{тр}}/Q_{\text{макс}})^2 = 38,4 \cdot (458/840)^2 = 11,4 \text{ м,}$$

$$\Sigma h_{\text{ав}1} = (\Sigma h - h_n) + 4h_n = (38,4 - 18,3) + 4 \cdot 18,3 = 73,3 \text{ м,}$$

$$\Sigma h_{\text{ав}1,5} = (\Sigma h - h_n) + 2,5h_n = (38,4 - 18,3) + 2,5 \cdot 18,3 = 64,15 \text{ м.}$$

$$K_p = 38,4/0,8402 = 54,4 \text{ л/с, } K_{\text{позж}} = 45,5/0,9152 = 54,4 \text{ с}^2/\text{м}^5,$$

$$K_{\text{тр}} = 11,4/0,4582 = 54,3 \text{ с}^2/\text{м}^5, K_{\text{ав}1} = 73,3/0,5882 = 212,1 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

$$K_{\text{ав}1,5} = 64,15/0,5882 = 194,5 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

$$H_p = 46,1 + 54,4Q^2 \text{ м, } H_{\Pi} = 32,5 + 54,4Q^2 \text{ м, } H_{\text{тр}} = 42,8 + 54,3Q^2 \text{ м,}$$

$$H_{\text{ав}1} = 46,1 + 212,1Q^2 \text{ м, } H_{\text{ав}1,5} = 46,1 + 194,5Q^2 \text{ м.}$$

Робота насосної станції наведена в додатку А (Табл.1)

Графік роботи насосної станції (рисунок 4.7) відображає залежність напорів, подач і ККД від характеристик водопровідної мережі.

Графік водоспоживання (рисунок 4.7) відображає залежність

$$Q_{\text{розрах}} = Q_{\text{доб}} P_t, \quad (4.14)$$

де  $Q_{\text{розрах}}$  – розрахункове водоспоживання протягом різних годин доби;  $P_t$  – частина водоспоживання в кожну годину від  $Q_{\text{доб}}$

Розрахунок графіка водоспоживання наведено в додатку А (Табл.2)

З робочих точок рисунка 4.8 визначаються подачі  $Q_{ні}$ , напори  $H_{ні}$  і  $\eta_{ні}$  при роботі одного, і двох насосів в робочих режимах, а з графіку рисунка 4.8 - скільки годин на добу  $t_i$  зайняті ці насоси. З цими значеннями обчислюється витрати електроенергії на одиницю об'єму, кВт·год/м<sup>3</sup>.

Фактична подача станції становить:

$$Q = (1 * 0,63 + 23 * 0,85) * 3600 = 72650 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Витрата електроенергії визначається за формулою:

$$E = \frac{(Q_1 \cdot H_1 \cdot t_1 / \eta_1 + Q_2 \cdot H_2 \cdot t_2 / \eta_2) \cdot \rho \cdot g}{1000 \cdot \eta_{дв}} \quad (4.15)$$

де  $H_1, H_2$  - напори, створювані при роботі 1-го, 2-х насосів, м<sup>3</sup>;  $\eta_1, \eta_2$  - ККД при роботі 1-го, 2-х насосів;  $\eta_{дв}$  - ККД двигуна, приймається  $\eta_{дв}=0,95$ .

$$E = \frac{(0,630 \cdot 69 \cdot 1 / 0,64 + 0,850 \cdot 87 \cdot 23 / 0,73) \cdot 1000 \cdot 9,8}{1000 \cdot 0,95} = 24735,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Дані проекту насосної станції наведено в додатку В

Питома витрата електроенергії, кВт·год/м<sup>3</sup> визначається:

$$\Pi = \frac{E}{Q_{доб}}, \quad (4.16)$$

$$\Pi = \frac{24735,2}{60000} = 0,41 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

#### 4.6 Висновки до розділу 4

1. Здійснені дослідження роботи насосної станції показали, що насосна станція працює з високою ефективністю, що підтверджує її спроможність надійно забезпечувати потреби водопостачання.

2. Проведені дослідження дозволили оцінити очікуваний ресурс насосної станції та її надійність. Встановлено, що насосна станція показує стабільну роботу під різними режимами навантаження.
3. Були виміряні та проаналізовані технічні параметри, такі як потужність, тиск, витрати води тощо, для забезпечення оптимальної роботи системи.
4. На підставі отриманих результатів, було визначено можливість вдосконалення деяких аспектів роботи насосної станції, таких як зменшення споживання енергії або підвищення продуктивності.
5. Дослідження технічних характеристик насосної станції підтвердило її відповідність вимогам та її здатність забезпечувати надійне та ефективне водопостачання.

## 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 5.1. Охорона праці

Забезпечення безпеки працівників та оптимізація роботи насосних агрегатів для перекачування стоків є надзвичайно важливим завданням в експлуатації насосних станцій. Особливу увагу слід приділяти питанням енергоефективності та охорони праці [22], оскільки це може не тільки покращити умови праці, але й знизити витрати електроенергії та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище [23, 24].

#### *Оцінка ризиків та визначення заходів з охорони праці*

##### 1. Аналіз потенційних небезпек.

Першим кроком в підвищенні ефективності та забезпеченні безпеки праці в насосних станціях є оцінка потенційних ризиків. Це може включати в себе аналіз можливих аварійних ситуацій, визначення небезпечних зон, оцінку шуму та вібрації, а також визначення можливих хімічних та біологічних ризиків.

##### 2. Розробка та впровадження заходів з безпеки праці

На основі результатів аналізу ризиків розробляються та впроваджуються заходи з безпеки праці. Це може включати в себе:

- встановлення захисного обладнання та систем аварійного відключення для запобігання травмам та аваріям;
- організація навчання та підготовки працівників з питань безпеки праці та правильної експлуатації обладнання;
- моніторинг та контроль рівнів шуму, вібрації та хімічних речовин на робочому місці.

##### 3. Підвищення енергоефективності насосних агрегатів

###### 1. Вибір енергоефективного обладнання

Для підвищення енергоефективності насосних агрегатів важливо вибирати обладнання з високим Коефіцієнтом Корисної Дії (ККД).

Використання сучасних енергоефективних насосів та моторів може значно зменшити споживання електроенергії.

## 2. Регулювання режимів роботи

Встановлення автоматичного регулювання режимів роботи насосних агрегатів на основі попиту може допомогти знизити споживання енергії в періоди з низьким навантаженням. Це може бути досягнуто за допомогою встановлення частотних перетворювачів або інших систем автоматизації.

## 3. Проведення планового обслуговування та підтримки

Планове обслуговування та регулярна перевірка стану обладнання можуть допомогти уникнути аварій та підвищити тривалість служби насосних агрегатів. Важливо вести журнали обслуговування та вчасно замінювати зношені деталі.

## 4. Моніторинг та покращення

1. Постійний моніторинг витрат електроенергії дозволяє вчасно виявляти ефективність роботи насосних агрегатів та реагувати на зміни. Регулярний аналіз даних може призвести до вдосконалення системи управління та економії електроенергії.

### 2. Постійне вдосконалення та оптимізація систем

Регулярні аналізи та аудити енергоспоживання дозволяють виявляти слабкі місця в роботі насосних агрегатів та систем. На основі цих відомостей можна розробити та впровадити стратегії покращення, які спрямовані на зменшення споживання енергії та підвищення загальної продуктивності.

### 3. Система відстеження та контролю

Створення системи відстеження та контролю за параметрами роботи насосних агрегатів, включаючи тиск, витрату, температуру та інші, дозволяє оперативно виявляти відхилення та вживати заходи для їх усунення.

Таким, чином охорона праці та підвищення енергоефективності насосних агрегатів є важливим завданням для насосних станцій. Заходи з охорони праці та оптимізація роботи обладнання дозволяють не лише зменшити ризики для працівників, але й зменшити споживання електроенергії

та покращити довговічність обладнання. Систематичне вдосконалення та моніторинг є ключовими факторами в досягненні успіху у цих справах.

## 5.2 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза є важливою частиною оцінки впливу будь-якого технічного об'єкта, такого як насосний агрегат, на природне середовище [25]. При експлуатації насосного агрегату можуть виникати різні екологічні питання та проблеми, які потребують уваги та оцінки екологічних впливів. Ось деякі з них:

**Водовідведення:** Насосні агрегати використовуються для перекачування води з одного місця в інше. Важливо враховувати, як ця діяльність може вплинути на річки, озера, ґрунтові води та водні екосистеми. Водовідведення може призвести до забруднення води та вплинути на рівновагу екосистем.

**Енергоспоживання:** Для роботи насосних агрегатів потрібна енергія. Це може вимагати великої кількості електроенергії або інших джерел енергії, які можуть мати свій власний екологічний вплив, наприклад, споживання палива.

**Забруднення повітря:** Викиди або випари від роботи насосних агрегатів можуть містити шкідливі речовини, які можуть забруднювати повітря та впливати на якість повітря в околицях.

**Звукове забруднення:** Робота насосного обладнання може виробляти значний рівень шуму, що може впливати на природне середовище та життя місцевих мешканців і тварин.

**Зберігання і обробка відходів:** Насосні агрегати можуть виробляти різні відходи, такі як мастило, пальне, хімічні речовини і інші матеріали. Їх зберігання та обробка повинні відповідати екологічним стандартам.

**Вплив на біоту та фауну:** Робота насосних агрегатів може мати вплив на місцевих тварин і рослини, особливо якщо вони розташовані в природних місцях, таких як болота або водосховища.

Екологічна експертиза допомагає визначити цілісний вплив насосного агрегату на природне середовище та розробити стратегії для зменшення негативних екологічних наслідків. Така експертиза може включати в себе оцінку водовідведення, моніторинг викидів, звукового та візуального забруднення, а також розробку заходів для зменшення негативного впливу на довкілля.

**Забруднення довкілля, що виникають при експлуатації насосного агрегату.** Експлуатація насосного агрегату може спричиняти різні види забруднення довкілля, і це залежить від конкретного типу насосу, його робочого середовища та умов експлуатації. Ось деякі типові види забруднення, які можуть виникати [25]:

**Забруднення води:** Насосні агрегати використовуються для перекачування рідин, і в процесі експлуатації можуть виникати ризики забруднення води. Наприклад, насоси, що використовуються для водопостачання, повинні бути ретельно обслуговувані, щоб уникнути забруднення питної води.

**Викиди газів:** Деякі насосні агрегати використовуються для перекачування агресивних рідин або рідин, що містять хімічні речовини. Це може призвести до викидів газів, таких як пари розчинників, які можуть бути шкідливими для повітря та здоров'я людей.

**Звукове забруднення:** Експлуатація насосного обладнання може виробляти значний рівень шуму, особливо якщо вони працюють на великих швидкостях. Це може впливати на комфорт місцевих мешканців і тварин, а також сприяти забрудненню акустичного середовища.

**Витрати енергії:** Робота насосного обладнання вимагає електроенергії або інших джерел енергії. Якщо електроенергія виробляється з використанням вугілля або інших шкідливих палив, це може сприяти викидам парникових газів та глобальному потеплінню.

**Відходи та мастило:** В процесі експлуатації насосного обладнання можуть утворюватися відходи, такі як старий мастило, фільтри або інші

відходи. Неналежна обробка та утилізація цих відходів може призвести до забруднення ґрунту та водою.

Вплив на біоту та фауну: Насосні агрегати, які використовуються в річках або водосховищах, можуть мати вплив на місцевих живих організмів, включаючи рибу та інших водних тварин.

Для мінімізації негативного впливу на довкілля при експлуатації насосного агрегату, важливо дотримуватися норм та стандартів щодо безпеки та охорони довкілля, проводити регулярний моніторинг та обслуговування обладнання та вживати заходів для зменшення викидів та інших негативних впливів.

**Заходи із зменшення забруднення довкілля.** Зменшення забруднення довкілля при використанні насосного агрегату можна досягнути за допомогою різних заходів та практик. Ось декілька основних заходів [27]:

Використання ефективного обладнання: Вибір насосного обладнання, яке має високий коефіцієнт корисної дії (ККД), дозволить зменшити споживання енергії та викиди газів. Модернізовані енергоефективні насоси можуть забезпечити більшу продуктивність при менших витратах енергії.

Регулярне обслуговування та планове технічне обслуговування: Вчасне обслуговування насосного обладнання допомагає зберегти його ефективність та запобігати витокам рідин, забрудненню мастилом або іншими розливами.

Використання екологічно чистих робочих рідин: Вибір безпечних та нешкідливих робочих рідин допомагає уникнути забруднення ґрунту та води, особливо у випадку, коли робота насосного обладнання відбувається в близькості до водних джерел.

Використання систем відновлення енергії: За допомогою систем відновлення енергії, таких як рециркуляція, можна зменшити споживання енергії та екологічний вплив.

Звукоізоляція та шумозахист: Зменшення шуму від насосного обладнання може знизити негативний вплив на оточуюче середовище та

здоров'я людей. Встановлення звукоізоляції та шумозахисту може бути корисним.

Правильне використання та утилізація відходів: Насосні агрегати можуть виробляти відходи, такі як мастило або фільтри. Важливо правильно збирати, обробляти та утилізувати ці відходи відповідно до вимог екологічного законодавства.

Ефективне керування процесами: Використання систем автоматизації та контролю допомагає підтримувати ефективність роботи насосного обладнання та зменшувати споживання енергії в режимі очікування.

Використання відновлювальних джерел енергії: Якщо можливо, використовуйте відновлювальні джерела енергії, такі як сонячні панелі або вітрові турбіни, для живлення насосного обладнання.

Застосування цих заходів може допомогти значно зменшити негативний вплив на довкілля при використанні насосного агрегату та сприяти сталому та екологічно відповідальному використанню цього обладнання.

## **5.2 Розрахунок економічних показників ефективності**

Капітальні вкладення на будівництво та проектування споруд визначаються за формулою [26]:

$$K_B = K_{ВБР} + O_б + П_p \quad (5.1)$$

де  $K_{ВБР}$  - кошторисна вартість будівельно-монтажних робіт для будівництва очисних споруд, що визначається залежно від призначення споруди та її продуктивності, грн;  $O_б$  - кошторисна вартість придбання та транспортування технологічного, енергетичного та іншого обладнання, що визначається виходячи із заводської вартості даних очисних споруд, грн;  $П_p$  - інші капітальні вкладення, призначені для фінансування розвідувальних, проектно-кошторисних робіт, а також на утримання дирекції об'єкта, що будується,

підготовку кадрів для експлуатації споруджуваних споруд, грн, що визначаються, визначаються за формулою:

$$P_p = 10\% (K_{\text{ВБР}} + O_6) \quad (5.2)$$

Вартість основних фондів визначається за такою формулою:

$$\Phi_{\text{осн}} = (K_{\text{ВБР}} + O_6) \quad (5.3)$$

До реконструкції:

$$\Phi_{\text{осн}} = K_{\text{ВБР}} + O_6 = 253583,62 \text{ тис грн.}$$

$$P_p = 0,1 \cdot \Phi_{\text{осн}} = 25358,362 \text{ тис грн.}$$

$$K_B = 253583,62 + 25358,362 = 278942 \text{ тис грн.}$$

Питомі капітальні вкладення визначаються за формулою:

$$KB_{\text{пит}} = \frac{KB}{Q}, \quad (5.4)$$

де  $Q$  – річна проектна продуктивність, тис.  $\text{м}^3/\text{год}$ .

$$KB_{\text{пит}} = 26 \text{ грн}/\text{м}^3.$$

Після реконструкції:

$$\Phi_{\text{осн}} = K_{\text{ВБР}} + O_6 = 506678,575 \text{ тис грн}$$

$$P_p = 0,1 \cdot \Phi_{\text{осн}} = 50667,85 \text{ тис грн.}$$

$$K_B = 517238,58 + 51723,858 = 568962,44 \text{ тис грн.}$$

$$KB_{\text{пит}} = 53,1 \text{ грн}/\text{м}^3.$$

*Визначення річних експлуатаційних витрат на систему очищення стічних вод.*

Загальні витрати на електроенергію визначаються за такою формулою:

$$Z_e = (A \cdot P_c + a \cdot W) \quad (5.5)$$

де  $A$  - основна плата за приєднану потужність, грн/кВА рік, встановлена в розмірі 340 грн./кВА;  $P_c$  - встановлена потужність (силова) всіх електродвигунів, кВА;  $a$  - додаткова оплата за витрачену енергію, грн./кВт • год; при двоставкових тарифах - 1,78 грн / кВт • год;  $W$  - активна витрата енергії, врахована лічильником, кВт • год.

Оплачувана настановна потужність електродвигунів високої напруги визначається в кіловольтамперах (кВА) за формулою:

$$P_{скВА} = \frac{P_{скВт}}{\cos\varphi \cdot \eta_2}, \quad (5.6)$$

де  $P_{скВт}$  - паспортна потужність електродвигунів;  $\cos\varphi$  - прийнято 0,8 – 0,9;  $\eta_2$  - ККД трансформаторів та електродвигунів.

Річна витрата активної електроенергії насосами визначається за такою формулою:

$$W = \frac{2,72 \cdot Q \cdot H}{\eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (5.7)$$

де  $W$  - кількість активної електроенергії, що витрачається на підйом та транспортування води або стічної рідини, кВт•год; 2,72 – питома витрата енергії, кВт•год, що витрачається на підйом 1000 м<sup>3</sup> на 1 м при ККД, що дорівнює 1,0;  $Q$  – кількість води, що перекачується за рік, 10715,1 тис. м<sup>3</sup>;  $H$  – середня висота підйому води насосами;  $\eta_2$  – середній ККД електродвигунів, рівний при потужності до 10 кВт – 0,85, до 50 кВт – 0,90, більше 50 кВт – 0,92;  $\eta_1$  – середній ККД насосів (1=0,5-0,8);

Річна витрата активної електроенергії іншими споживачами визначається за такою формулою:

$$W = \sum P_{c_{кВТi}} \cdot t_{pi} / \eta_2, \quad (5.8)$$

де  $P_{c_{кВТi}}$  - встановлена потужність  $i$ -го електроприладу, кВт;  $t_{pi}$  - час роботи за режимом  $i$ -го електроспоживаючого апарату протягом року, годин

Оскільки силова потужність не перевищує 750 кВА, але оскільки ОС перебувають на балансі ОС, загальні витрати на електроенергію  $Z_{e/e}$ , грн/рік, визначаються за двоставковим тарифом за формулою:

$$Z_e = (A \cdot P_c + a \cdot W) \quad (5.9)$$

де  $A$  - основна плата за приєднану потужність, грн/кВА на рік, встановлена у розмірі 340 грн./кВА;  $P_c$  - встановлена потужність (сілова) всіх трансформаторів та електродвигунів, кВА;  $a$  - додаткова оплата за витрачену енергію, грн./кВт • год; при двоставкових тарифах - 6,9 грн./кВт • год;  $W$  - активна витрата енергії, врахована лічильником, кВт • год.

*Цехові та загальноексплуатаційні витрати.*

Цехові та загальноексплуатаційні витрати з'являються в процесі організації, планування та управління ділянкою, цехом та підприємством в цілому. Вони складаються із витрат на відрядження, на купівлю паливно-мастильних матеріалів, на оплату електроенергії та палива для загальногосподарських потреб, а також поштово-телеграфних витрат, канцелярських витрат та інших.

Цехові та загальноексплуатаційні витрати  $Z_{ц}$ , грн/рік, визначаються за формулою:

$$Z_{ц. \text{ і ЗЕВ}} = (\sum Z_{i-Авр}) * N_{ц. \text{ та ОЕР}} / 100 \quad (5.10)$$

де  $\sum Z_{i-Авр}$  - сума всіх витрат без урахування амортизаційних відрахувань на реновацію, грн.;  $N_{ц \text{ та ОЕР}}$  норма цехових та загальноексплуатаційних витрат,

встановлена розрахунковим шляхом на основі аналізу звітних даних, становить 2-4%.

До реконструкції:

$$Z_{\text{ц}} = 2392,96 \text{ тис. грн.}$$

Після реконструкції:

$$Z_{\text{ц}} = 3889,62 \text{ тис. грн.}$$

Собівартість надання послуг з очищення стічних вод  $1\text{ м}^3$  ( $c_i$ ) визначається за такою формулою:

$$c_i = E_{\text{кс.зі}}/q_i \cdot 365 \quad (5.11)$$

де  $E_{\text{кс.зі}}$  - річні експлуатаційні витрати  $i$ -ої системи, грн.;  $q_i$  - середньодобова продуктивність  $i$ -ої системи,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ; 365 – число календарних днів роботи.

Собівартість  $1\text{ м}^3$  очищених стічних вод до реконструкції:

$$c_i = 65492000 / 29356,4 \cdot 365 = 6,1 \text{ грн. /}\text{м}^3$$

Собівартість  $1\text{ м}^3$  очищених стічних вод після реконструкції:

$$c_i = 120203,45 / 29356,4 \cdot 365 = 11,2 \text{ грн. /}\text{м}^3.$$

Результати свідчать про те, що після проведення реконструкції – собівартість очищеної стічної води (за  $1\text{ м}^3$ ) збільшилась майже вдвічі. Тобто, при заданих затратах, маємо подвійний економічний ефект. Результати екологічної експертизи підтверджують високу ефективність очищення стічних вод (стічні води після очищення – майже в два рази стали чистіші) після проведення реконструкції, що вказує на той факт, що не потрібно додаткових затрат на проведення робіт по очищенню.

## 5.4 Висновки до розділу 5

1. Проведення екологічної експертизи сприяє визначенню впливу насосного агрегату на природне середовище та розробці стратегій для зменшення його негативних екологічних наслідків. Для зниження впливу на довкілля при експлуатації насосного агрегату, критично важливим є

відповідність нормам та стандартам з питань безпеки та охорони навколишнього середовища, а також проведення регулярного моніторингу та технічного обслуговування обладнання.

2. У результаті проведених розрахунків та докладного аналізу потрібних витрат на реконструкцію проекту можна приймати обґрунтоване рішення щодо інвестування коштів та впровадження проекту з мінімізацією фінансових ризиків.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Висновки до проведених досліджень роботи насосної станції можна сформулювати наступним чином:

1. Результати досліджень підтверджують високу ефективність роботи насосної станції. Ця ефективність свідчить про її здатність надійно забезпечувати потреби водопостачання, що є важливим аспектом у забезпеченні життєвої активності та комфорту споживачів.

2. Проведені дослідження дозволили оцінити очікуваний ресурс насосної станції та підтвердили її стабільну роботу під різними режимами навантаження. Це важливий показник для забезпечення безперебійного водопостачання.

3. Виміряні та проаналізовані технічні параметри, такі як потужність, тиск і витрати води, підтримують оптимальну роботу системи. Цей аналіз дозволяє забезпечити найкращу продуктивність та ефективність насосної станції.

4. На основі отриманих результатів, ми визначили можливості для подальшого вдосконалення роботи насосної станції. Це може включати в себе зменшення споживання енергії або підвищення продуктивності, що покращить якість послуг та відповідність вимогам стандартів.

5. Дослідження технічних характеристик насосної станції чітко підтвердило її відповідність вимогам та здатність забезпечувати надійне та ефективне водопостачання, в тому числі, показано ефективність з точки зору економічного ефекту по очищенню стічних вод при перекачуванні насосними агрегатами – подвійний ефект при мінімальних капітальних затратах. Це свідчить про високий ступінь довіри та відповідальності в роботі насосної станції.

6. Проведені розрахунки та роботи з удосконалення роботи очисних споруд за допомогою насосних агрегатів, показали покращення якості

очищення стічних вод, що, в свою чергу, дозволяє запобіганню екологічних збитків.

7. Розрахунки показали, що при збереженні існуючого набору очисних споруд неможливо досягти значного покращення якості очищення стічних вод.

8. Визначено пріоритетні напрямки проведення реконструкції очисних споруд. Запропоновано поетапний план реконструкції за допомогою використання насосних систем та їх оптимізації з метою підвищення енергоефективності, зменшення витрат електроенергії та зниження негативного впливу на довкілля.