

РЕФЕРАТ

складається з 54 сторінок, 14 рисунків, 7 таблиць, 15 літературних джерел

Об'єктом дослідження кваліфікаційної магістерської роботи є процеси, які відбуваються при роботі насосних агрегатів.

Предметом дослідження є різноманітні режими роботи насосних агрегатів.

Метою роботи є зниження енергоспоживання насосних агрегатів при перекачуванні води на насосній станції №13.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у зменшенні споживання електричної енергії шляхом впровадження автоматизованої SCADA-системи керування електроприводами насосів, які встановлено на насосній станції №13 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»; встановлення нових насосів та сучасних перетворювачів частоти.

Галузь застосування – електромеханічне обладнання енергоємних виробництв.

Отримані результати: встановлення сучасних перетворювачів частоти дало змогу насосним агрегатам працювати лише з необхідною потужністю, що значно знизило перевитрати електроенергії і зменшило механічне навантаження на обладнання, продовжуючи його термін служби; завдяки використанню програмного забезпечення MATLAB/Simulink створено математичну модель насосної станції, яка дозволила оцінити ефективність різних режимів її роботи та підтвердило, що частотне регулювання дозволяє зменшити енергоспоживання, підвищити стабільність роботи насосної установки, адаптуючи її до змінних умов роботи та покращити економічні показники підприємства в цілому.

НАСОСНА СТАНЦІЯ, НАСОС, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ,
ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, SCADA-СИСТЕМА, МАТЕМАТИЧНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ

ВСТУП

Енергетична система ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є складною, багаторівневою структурою, яка гарантує безперебійну подачу електричної енергії для всіх технологічних процесів підприємства. Її основні складові – це підстанції високої напруги, магістральні та розподільчі лінії, трансформатори різних потужностей та сучасні автоматизовані системи моніторингу та управління. Завдяки високому рівню організації цієї системи підприємство здатне виконувати всі свої виробничі завдання без втрат ефективності.

Підприємство отримує значне електропостачання від державної енергетичної системи через підстанції напругою 330 кВ та 110 кВ, які розташовані в близьких межах території підприємства. Підстанції високої напруги містять силові трансформатори, які виконують функцію зниження напруги до рівня 6-35 кВ для забезпечення електроживлення технологічного обладнання. Конверсія напруги на цих етапах є дуже важливою, оскільки вона призводить до зменшення втрат енергії під час передачі електрики та допомагає оптимізувати її подачу на різні об'єкти.

На рівні системи середньої напруги енергетична система включає первинні електричні мітохондрії розподільчих мереж, електромотори, лінії живлення до насосних станцій, компресори та технологічні обробні інструменти.

Особливо важливим є те, що кожна мережа ретельно резервується. Це означає, що у разі аварійного відключення однієї лінії живлення активується резервна, що дозволяє уникнути простоїв виробництва. Резервування забезпечується за рахунок використання дублюючих трансформаторів, паралельних ліній та систем автоматичного включення резерву (АВР).

Низьковольтна мережа є фінальним рівнем у системі енергопостачання. Вона забезпечує живлення допоміжних систем, таких як освітлення, вентиляція, автоматизація процесів та інформаційно-комунікаційне обладнання. Цей рівень також характеризується високою надійністю завдяки впровадженню сучасних засобів моніторингу.

Однією з ключових особливостей системи енергопостачання є її багаторівнева структура, яка дозволяє ефективно перерозподіляти енергію між споживачами. Важливо зазначити, що всі рівні системи активно автоматизуються. Наприклад, використання SCADA-систем дозволяє диспетчерським службам контролювати всі параметри роботи мереж у

реальному часі. Це не лише знижує ризик аварійних ситуацій, але й сприяє оптимізації енергоспоживання.

Крім автоматизації, система енергопостачання постійно вдосконалюється з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності. Впровадження трансформаторів із низькими втратами та конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності дозволяє зменшити навантаження на мережу. Такий підхід забезпечує значну економію електроенергії та сприяє зменшенню експлуатаційних витрат.

Проблеми, які залишаються в системі, стосуються насамперед старих мереж середньої та низької напруги, які потребують модернізації. Значна частина трансформаторного обладнання працює понад 20 років і має підвищені втрати енергії через застарілі конструкції. Оновлення цього обладнання є пріоритетним завданням для підвищення ефективності всієї системи енергопостачання підприємства.

Для покращення роботи системи впроваджуються також інноваційні рішення, такі як використання штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних про споживання енергії. Це дозволяє прогнозувати навантаження на мережі та запобігати перевантаженням, що особливо актуально у виробництвах з великими коливаннями споживання енергії.

Система енергопостачання ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" демонструє високий рівень технологічного розвитку, інтегруючи сучасні автоматизовані рішення та енергоефективні технології. Її розвиток залишається одним із ключових завдань для забезпечення стабільної роботи підприємства в умовах зростаючого попиту на продукцію та необхідності підтримання екологічних стандартів.

Насосні станції ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є невід'ємною частиною загальної системи енергопостачання та технологічного циклу підприємства. Вони забезпечують перекачування великих обсягів рідини, що використовуються для охолодження доменних печей, прокатних станів, а також для транспортування шламів і технологічних відходів у закритих водооборотних системах.

Головною функцією насосних станцій є підтримання циркуляції рідин у системах охолодження обладнання. Для цього використовуються потужні насоси, які працюють в умовах значних змін навантаження. Їхня надійність і стабільна робота визначають загальну ефективність технологічного процесу.

На підприємстві діють кілька насосних станцій, кожна з яких виконує специфічну роль у забезпеченні потреб окремих виробничих цехів. Наприклад, насосні станції, розташовані в доменному цеху, забезпечують транспортування води для охолодження доменних печей, тоді як інші станції працюють для прокатних станів, очищення газів і переробки шламів.

Операційна схема насосних станцій базується на використанні кількох незалежних насосних агрегатів, які можуть працювати як у паралельному, так і в почерговому режимах. Це дозволяє збільшувати продуктивність у періоди пікового навантаження, а також зменшувати споживання енергії під час зниження обсягів роботи. Усі станції мають резервне обладнання, яке може автоматично активуватися в разі виходу з ладу основного агрегату.

Ключовою особливістю роботи насосних станцій є впровадження автоматизованих систем управління, які забезпечують контроль таких параметрів, як тиск у трубопроводах, рівень рідини в резервуарах, температура робочого середовища та споживання енергії. Ці системи інтегровані з центральною SCADA-системою підприємства, що дозволяє здійснювати моніторинг усіх процесів у реальному часі.

Кожна насосна станція обладнана потужними електродвигунами, які працюють від джерел середньої напруги. Для підвищення енергоефективності на підприємстві впроваджено перетворювачі частоти, які дозволяють регулювати швидкість обертання насосів залежно від поточних потреб. Це дає змогу суттєво зменшити споживання енергії без зниження продуктивності.

Насосні станції також виконують важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки. Завдяки використанню замкнених водооборотних циклів підприємство знижує споживання свіжої води та зменшує кількість забруднень, що скидаються у природні водойми. Насосні станції перекачують шламові води до ставків-освітлювачів, де відбувається очищення та повторне використання води.

Серед головних проблем, з якими стикається підприємство в експлуатації насосних станцій, є знос обладнання, підвищене енергоспоживання та обмежені можливості модернізації старих агрегатів. З цією метою активно впроваджуються програми модернізації, спрямовані на заміну застарілих насосів на нові, більш енергоефективні, а також автоматизацію процесів управління.

Насосні станції ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є зразком поєднання традиційних технологій з сучасними автоматизованими рішеннями. Їхнє постійне вдосконалення сприяє досягненню високого рівня ефективності та екологічної відповідальності підприємства.

Насосна станція №13 (НС-13) є однією з найважливіших складових у загальній системі водооборотного циклу ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Вона забезпечує транспортування великих обсягів шламових вод, які утворюються під час роботи доменних печей, прокатних станів, газоочищення та інших технологічних процесів. Ця станція дозволяє не лише ефективно здійснювати переробку води, але й суттєво зменшувати використання свіжої води, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

НС-13 забезпечує транспортування води від основних виробничих ділянок до ставків-освітлювачів, де відбувається глибоке очищення рідини. Після цього очищена вода повторно використовується у технологічному процесі, зменшуючи витрати підприємства на водопостачання та знижуючи екологічний вплив. Завдяки стабільній роботі НС-13 забезпечується безперервність технологічного циклу, що є критично важливим для основних виробничих процесів.

Електропостачання насосної станції здійснюється через два незалежні введення від підстанції КРЗ-9, що забезпечує резервування живлення. У разі аварійного відключення одного з введень система автоматичного включення резерву (АВР) перемикає живлення на резервний канал, що дозволяє уникнути зупинок у роботі станції.

На сьогоднішній день НС-13 оснащена базовими системами управління насосним обладнанням, які дозволяють здійснювати контроль основних параметрів, таких як тиск у трубопроводах, рівень води в резервуарах та температура робочого середовища. Водночас відсутність SCADA-системи обмежує можливості автоматизації, моніторингу в реальному часі та оперативного управління. Розробка та впровадження SCADA для НС-13 є однією з пріоритетних задач, що буде розглянута в наступних розділах роботи.

Серед основних проблем, з якими стикається НС-13, слід виділити високе енергоспоживання насосів, які працюють із фіксованою продуктивністю незалежно від реальних потреб системи. Модернізація насосної станції передбачає впровадження частотних перетворювачів для

регулювання швидкості обертання насосів, що дозволить зменшити витрати електроенергії та забезпечити адаптацію роботи до змінних умов.

Також важливим напрямком є автоматизація системи управління. Інтеграція SCADA-системи забезпечить централізований контроль, моніторинг роботи обладнання та можливість оперативного реагування на аварійні ситуації. Це значно підвищить ефективність роботи станції та сприятиме зниженню експлуатаційних витрат.

НС-13 виконує ключову функцію у забезпеченні стабільності роботи водооборотного циклу та системи енергопостачання підприємства. Її стабільна робота забезпечує необхідні умови для безперебійного функціонування виробничих агрегатів, знижуючи навантаження на природні ресурси та підвищуючи економічну ефективність виробництва. Модернізація насосної станції дозволить підвищити її енергоефективність, надійність та адаптивність до сучасних вимог виробництва.

Розділ 1

Аналіз роботи насосної станції №13

1.1 Опис роботи насосних станцій підприємства

Насосні станції ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є невід'ємною частиною загальної системи енергопостачання та технологічного циклу підприємства. Вони забезпечують перекачування великих обсягів рідини, що використовуються для охолодження доменних печей, прокатних станів, а також для транспортування шламів і технологічних відходів у закритих водооборотних системах.

Головною функцією насосних станцій є підтримання циркуляції рідин у системах охолодження обладнання. Для цього використовуються потужні насоси, які працюють в умовах значних змін навантаження. Їхня надійність і стабільна робота визначають загальну ефективність технологічного процесу.

На підприємстві діють кілька насосних станцій, кожна з яких виконує специфічну роль у забезпеченні потреб окремих виробничих цехів. Наприклад, насосні станції, розташовані в доменному цеху, забезпечують транспортування води для охолодження доменних печей, тоді як інші станції працюють для прокатних станів, очищення газів і переробки шламів.

Операційна схема насосних станцій базується на використанні кількох незалежних насосних агрегатів, які можуть працювати як у паралельному, так і в почерговому режимах. Це дозволяє збільшувати продуктивність у періоди пікового навантаження, а також зменшувати споживання енергії під час зниження обсягів роботи. Усі станції мають резервне обладнання, яке може автоматично активуватися в разі виходу з ладу основного агрегату.

Ключовою особливістю роботи насосних станцій є впровадження автоматизованих систем управління, які забезпечують контроль таких параметрів, як тиск у трубопроводах, рівень рідини в резервуарах, температура робочого середовища та споживання енергії. Ці системи інтегровані з центральною SCADA-системою підприємства, що дозволяє здійснювати моніторинг усіх процесів у реальному часі.

Кожна насосна станція обладнана потужними електродвигунами, які працюють від джерел середньої напруги. Для підвищення енергоефективності на підприємстві впроваджено перетворювачі частоти, які дозволяють регулювати швидкість обертання насосів залежно від поточних потреб. Це дає змогу суттєво зменшити споживання енергії без зниження продуктивності.

Насосні станції також виконують важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки. Завдяки використанню замкнених водооборотних циклів підприємство знижує споживання свіжої води та зменшує кількість забруднень, що скидаються у природні водойми. Насосні станції перекачують шламові води до ставків-освітлювачів, де відбувається очищення та повторне використання води.

Серед головних проблем, з якими стикається підприємство в експлуатації насосних станцій, є знос обладнання, підвищене енергоспоживання та обмежені можливості модернізації старих агрегатів. З цією метою активно впроваджуються програми модернізації, спрямовані на заміну застарілих насосів на нові, більш енергоефективні, а також автоматизацію процесів управління.

Насосні станції ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є зразком поєднання традиційних технологій з сучасними автоматизованими рішеннями. Їхнє постійне вдосконалення сприяє досягненню високого рівня ефективності та екологічної відповідальності підприємства.

Насосна станція №13 (НС-13) є однією з найважливіших складових у загальній системі водооборотного циклу ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Вона забезпечує транспортування великих обсягів шламових вод, які утворюються під час роботи доменних печей, прокатних станів, газоочищення та інших технологічних процесів. Ця станція дозволяє не лише ефективно здійснювати переробку води, але й суттєво зменшувати використання свіжої води, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

Роль у структурі водооборотного циклу

НС-13 забезпечує транспортування води від основних виробничих ділянок до ставків-освітлювачів, де відбувається глибоке очищення рідини. Після цього очищена вода повторно використовується у технологічному процесі, зменшуючи витрати підприємства на водопостачання та знижуючи екологічний вплив. Завдяки стабільній роботі НС-13 забезпечується безперервність технологічного циклу, що є критично важливим для основних виробничих процесів.

Технічні характеристики

НС-13 обладнана сучасними відцентровими насосами типу Д6300-27 (табл.1.1)

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики насосу Д6300-27

Характеристика	Значення
Q, м ³ /год	6300
Напір, м	27
P, кВт	630
N, об/хвил	750
ККД, %	90
Витік, л/год	0,5 ... 10

На сьогоднішній день НС-13 (рис. 1.1) оснащена базовими системами управління насосним обладнанням, які дозволяють здійснювати контроль основних параметрів, таких як тиск у трубопроводах, рівень води в резервуарах та температура робочого середовища. Водночас відсутність SCADA-системи обмежує можливості автоматизації, моніторингу в

реальному часі та оперативного управління. Розробка та впровадження SCADA для НС-13 є однією з пріоритетних задач, що буде розглянута в наступних розділах роботи.

Серед основних проблем, з якими стикається НС-13, слід виділити високе енергоспоживання насосів, які працюють із фіксованою продуктивністю незалежно від реальних потреб системи. Модернізація насосної станції передбачає впровадження частотних перетворювачів для регулювання швидкості обертання насосів, що дозволить зменшити витрати електроенергії та забезпечити адаптацію роботи до змінних умов.

Також важливим напрямком є автоматизація системи управління. Інтеграція SCADA-системи забезпечить централізований контроль, моніторинг роботи обладнання та можливість оперативного реагування на аварійні ситуації. Це значно підвищить ефективність роботи станції та сприятиме зниженню експлуатаційних витрат.

НС-13 виконує ключову функцію у забезпеченні стабільності роботи водооборотного циклу та системи енергопостачання підприємства. Її стабільна робота забезпечує необхідні умови для безперебійного функціонування виробничих агрегатів, знижуючи навантаження на природні ресурси та підвищуючи економічну ефективність виробництва. Модернізація насосної станції дозволить підвищити її енергоефективність, надійність та адаптивність до сучасних вимог виробництва.



Рисунок 1.1 – Насосна станція

1.2 Технічні характеристики обладнання

Насосна станція №13 (НС-13) є важливим елементом системи енергопостачання ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг". Основними її компонентами є відцентрові насоси та асинхронні електродвигуни, які забезпечують транспортування шламових вод у межах замкненого водооборотного циклу. Розглянемо основні технічні характеристики обладнання та проведемо відповідні розрахунки.

Насоси типу Д6300-27 (рис. 1.2) є основою насосної станції. Вони забезпечують транспортування шламових вод із продуктивністю до 6300 м³/год при номінальному напорі 27 м водяного стовпа.

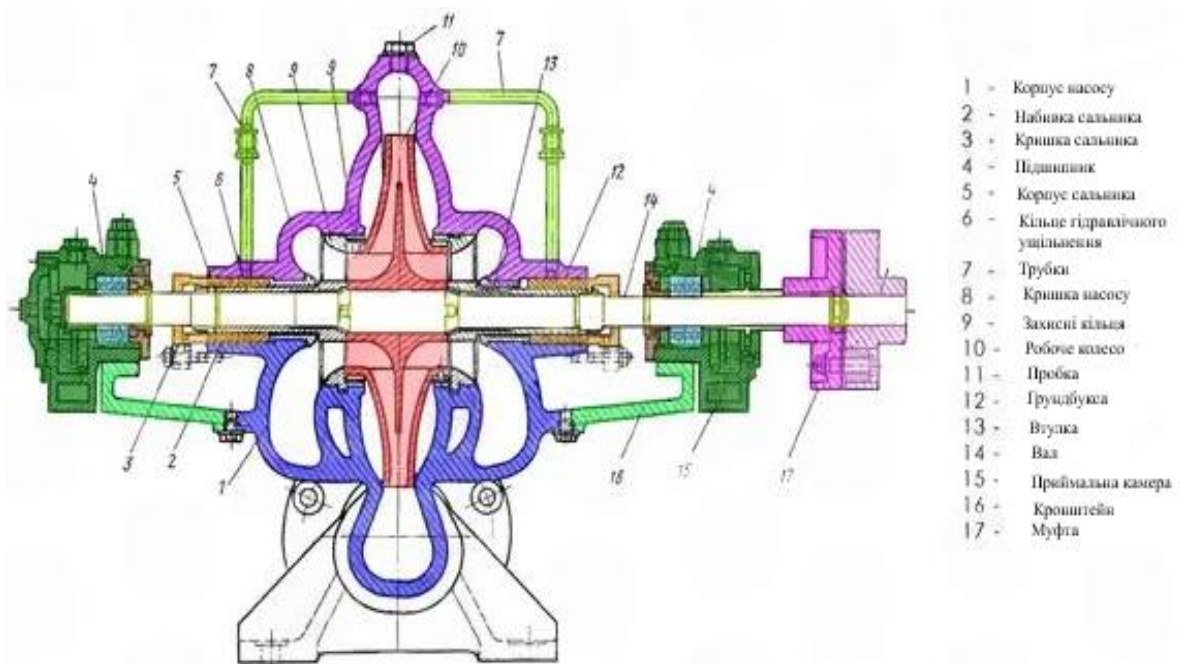


Рисунок 1.2 – Насос Д6300-27

Продуктивність насоса визначається формулою:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1.1)$$

де: $V = 6300 \text{ м}^3$ – обсяг перекачуваної рідини,

$t = 1 \text{ год}$ – час транспортування.

Для насоса Д6300-27 продуктивність дорівнює:

$$Q = \frac{6300}{3600} = 1.75 \text{ м}^3/\text{с}$$

Гідравлічна потужність:

$$P_{\text{гидр}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1.2)$$

де: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$,

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$,

$Q = 1.75 \text{ м}^3/\text{с}$,

$H = 27 \text{ м}$.

Розраховуємо потужність

$$P_{\text{гiдр}} = 1000 \cdot 9.81 \cdot 1.75 \cdot 27 = 463.3 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт корисної дії насоса:

$$n = \frac{P_{\text{гiдр}}}{P_{\text{споживана}}} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

де $P_{\text{споживана}} = 630 \text{ кВт}$

ККД становить:

$$n = \frac{463.3}{630} \cdot 100\% = 73.5\%$$

Асинхронні двигуни є джерелом механічної енергії для насосів. Їхня основна задача - передача обертального моменту на вал насоса. Технічні характеристики двигуна А4-450У-8У3 у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики двигуна А4-450У-8У3

Характеристика	Значення
Номінальна потужність Р, кВт	630
Напруга U, кВ	6
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0.85
Струм I, А	68
Частота обертання n, об/хв	750

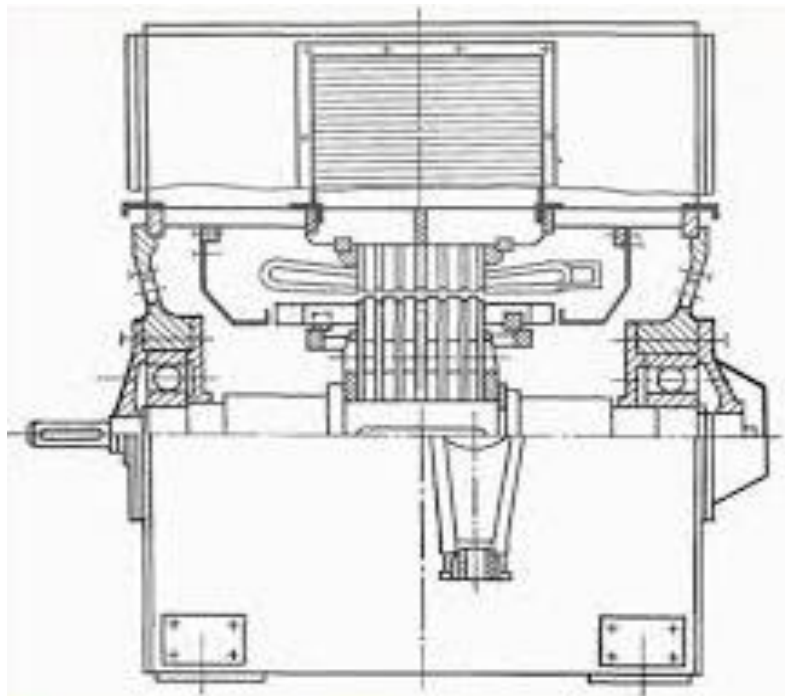


Рисунок 1.3 – Приводний двигун

Розрахуємо активну потужність:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1.4)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 68 \cdot 0.85 = 598.8 \text{ кВт}$$

Розрахуємо обертальний момент двигуна:

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (1.5)$$

$$\text{де, } \omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1.6)$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 750}{60} \text{ рад/с}$$

$$M = \frac{598.8}{78.54} = 7.63 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Взаємодія між насосом і двигуном забезпечується через жорстке з'єднання валів. Двигун передає обертальний момент, який забезпечує рух робочого колеса насоса, створюючи потік рідини. Ефективність такої системи залежить від правильного підбору потужностей двигуна та насоса.

Системи управління на НС-13 забезпечують моніторинг основних параметрів: тиск, рівень води, температуру середовища. Їх модернізація передбачає впровадження частотних перетворювачів, які дозволять регулювати швидкість обертання насосів, знижуючи енергоспоживання.

1.3 Оцінка існуючих режимів роботи насосів

Робота насосних агрегатів може здійснюватися в кількох режимах, залежно від умов навантаження, потреб системи водообороту та типу обладнання. Основними режимами є номінальний, режим із частотним регулюванням та черговий. Кожен із них має свої переваги та недоліки.

У номінальному режимі насос працює на максимальній продуктивності за фіксованої частоти обертання електродвигуна (50 Гц). Насоси Д6300-27 забезпечують транспортування шламових вод із продуктивністю:

$$Q_{\text{ном}} = 6300 \text{ м}^3/\text{год}$$

Робочий напір:

$$H_{\text{ном}} = 27 \text{ м}$$

Переваги:

- Забезпечення стабільності роботи системи.
- Простота управління без складної автоматики.
- Максимальна продуктивність, що відповідає піковим потребам.

Недоліки:

- Високе енергоспоживання навіть за умов низького навантаження.
- Швидке зношування обладнання через постійну роботу на максимальній потужності.

Режим із частотним регулюванням передбачає використання частотних перетворювачів для регулювання швидкості обертання електродвигунів залежно від потреб системи. Це дозволяє зменшити енергоспоживання за умов зниженого навантаження. Потужність насоса змінюється пропорційно до куба частоти обертання:

Переваги:

- Значна економія енергії.
- Адаптація до змінних умов роботи.
- Плавний запуск і зупинка насосів, що зменшує механічні навантаження.

Недоліки:

- Необхідність впровадження частотних перетворювачів.
- Зростання капітальних витрат на модернізацію системи.

У черговому режимі один насос працює з мінімальним навантаженням, забезпечуючи підтримання базових параметрів системи, таких як тиск у трубопроводах або рівень води в резервуарах.

Переваги:

- Зниження енергоспоживання у періоди низького навантаження.
- Зменшення зношування основного обладнання.

Недоліки:

- Обмежена продуктивність.
- Недостатнє забезпечення потреб системи у пікові періоди.

На НС-13 переважно використовується номінальний режим роботи, оскільки станція не оснащена частотними перетворювачами. Це забезпечує максимальну продуктивність, але водночас призводить до перевитрати енергії. Для транспортування 5000 м³/год зазвичай працюють три насоси:

$$Q_{\text{заг}} = 3 \cdot Q_{\text{один}} = 3 \cdot 1.75 = 5.25 \text{ м}^3/\text{с}$$

Сумарна потужність:

$$P_{\text{заг}} = 3 \cdot 630 = 1890 \text{ кВт}$$

Енергоспоживання насосів визначається формулою:

$$W = P_{\text{заг}} \cdot t \quad (1.7)$$

де: $P_{\text{заг}} = 1890 \text{ кВт}$,

$t = 8760 \text{ год/рік}$

Річне енергоспоживання для трьох насосів:

$$W = 1890 \cdot 8760 = 16\,556\,400 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Основні проблеми:

1. Відсутність частотного регулювання призводить до перевитрати енергії.
2. Зношування обладнання через роботу на максимальних параметрах.
3. Нестача гнучкості в управлінні насосами.

1.4 Загальна характеристика системи енергопостачання

Система енергопостачання ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" є складною багаторівневою структурою, яка забезпечує безперебійну подачу електроенергії для всіх технологічних процесів підприємства. Основними її компонентами є високовольтні підстанції, магістральні та розподільчі лінії, трансформатори різної потужності, а також сучасні автоматизовані системи моніторингу й управління. Високий рівень організації цієї системи дозволяє підприємству виконувати всі виробничі завдання без втрат ефективності.

Підприємство отримує основне живлення від державної енергосистеми через підстанції напругою 330 кВ та 110 кВ, які розташовані в безпосередній близькості до об'єктів підприємства. Високовольтні підстанції оснащені силовими трансформаторами, що виконують функцію зниження напруги до

рівня 6-35 кВ для забезпечення живлення технологічного обладнання. Перетворення напруги на цих етапах має вирішальне значення, оскільки дозволяє зменшити втрати потужності під час передачі енергії та оптимізувати її розподіл між різними об'єктами.

На рівні середньої напруги система енергопостачання охоплює розподільчі мережі, які забезпечують живлення електродвигунів, насосних станцій, компресорів і технологічних агрегатів. Особливо важливим є те, що кожна мережа ретельно резервується. Це означає, що у разі аварійного відключення однієї лінії живлення активується резервна, що дозволяє уникнути простоїв виробництва. Резервування забезпечується за рахунок використання дублюючих трансформаторів, паралельних ліній та систем автоматичного включення резерву (АВР).

Низьковольтна мережа є фінальним рівнем у системі енергопостачання. Вона забезпечує живлення допоміжних систем, таких як освітлення, вентиляція, автоматизація процесів та інформаційно-комунікаційне обладнання. Цей рівень також характеризується високою надійністю завдяки впровадженню сучасних засобів моніторингу.

Однією з ключових особливостей системи енергопостачання є її багаторівнева структура, яка дозволяє ефективно перерозподіляти енергію між споживачами. Важливо зазначити, що всі рівні системи активно автоматизуються. Наприклад, використання SCADA-систем дозволяє диспетчерським службам контролювати всі параметри роботи мереж у реальному часі. Це не лише знижує ризик аварійних ситуацій, але й сприяє оптимізації енергоспоживання.

Крім автоматизації, система енергопостачання постійно вдосконалюється з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності. Впровадження трансформаторів із низькими втратами та конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності дозволяє зменшити навантаження на мережу. Такий підхід забезпечує значну економію електроенергії та сприяє зменшенню експлуатаційних витрат.

Проблеми, які залишаються в системі, стосуються насамперед старих мереж середньої та низької напруги, які потребують модернізації. Значна частина трансформаторного обладнання працює понад 20 років і має підвищені втрати енергії через застарілі конструкції. Оновлення цього обладнання є пріоритетним завданням для підвищення ефективності всієї системи енергопостачання підприємства.

Для покращення роботи системи впроваджуються також інноваційні рішення, такі як використання штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних про споживання енергії. Це дозволяє прогнозувати навантаження на мережі та запобігати перевантаженням, що особливо актуально у виробництвах з великими коливаннями споживання енергії.

Система енергопостачання ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" (рис. 1.4) демонструє високий рівень технологічного розвитку, інтегруючи сучасні

автоматизовані рішення та енергоефективні технології. Її розвиток залишається одним із ключових завдань для забезпечення стабільної роботи підприємства в умовах зростаючого попиту на продукцію та необхідності дотримання екологічних стандартів.

Електропостачання насосної станції здійснюється через два незалежні введення від підстанції КРЗ-9, що забезпечує резервування живлення. У разі аварійного відключення одного з введень система автоматичного включення резерву (АВР) перемикає живлення на резервний канал, що дозволяє уникнути зупинок у роботі станції.

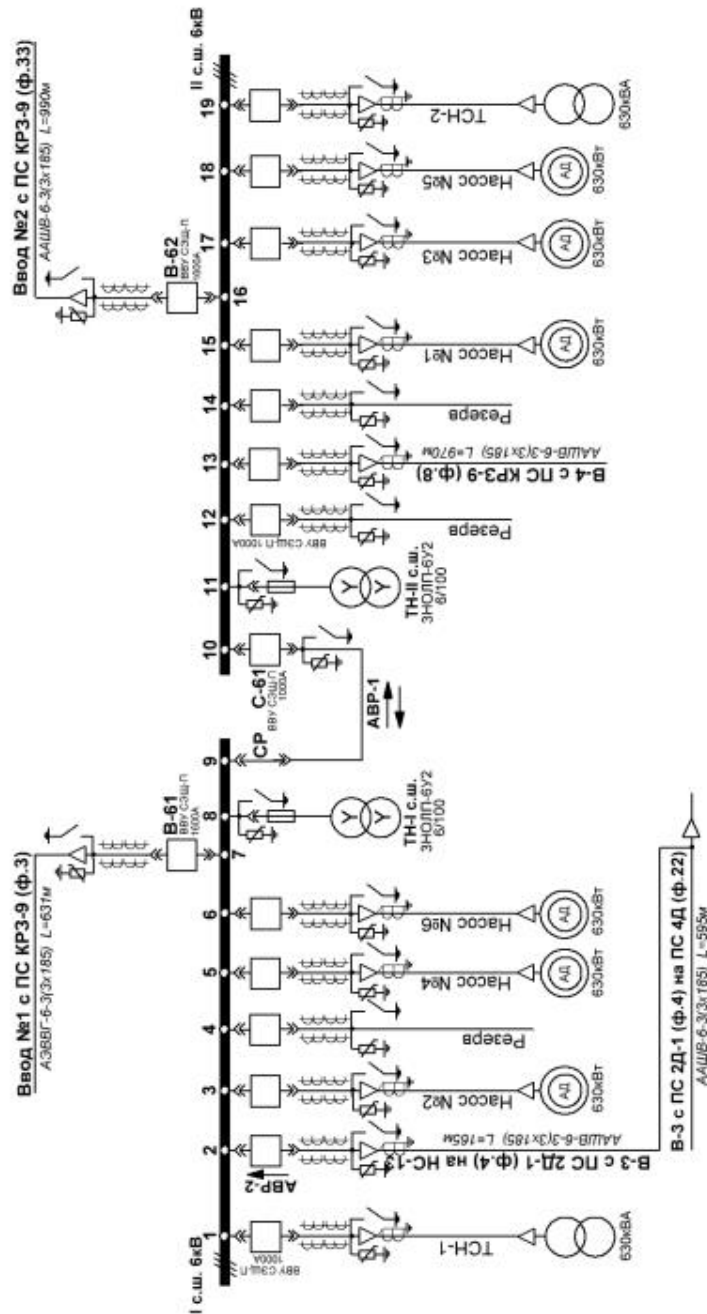


Рисунок 1.4 – Схема електропостачання НС-13

1.5 Схема енергоживлення НС-13

Енергоживлення насосної станції №13 (НС-13) є ключовим елементом забезпечення її безперебійної роботи. Стабільність роботи насосів і електродвигунів, які є основними споживачами електроенергії на станції, залежить від надійності схеми енергоживлення, правильного розподілу навантаження між секціями та ефективності резервування. У цьому підрозділі детально розглянемо структуру енергоживлення НС-13, її особливості та виконаємо основні розрахунки.

Енергоживлення НС-13 здійснюється від підстанції КРЗ-9, яка знижує напругу з 35 кВ до 6 кВ. Система розділена на дві секції шин, кожна з яких забезпечує живлення певної групи насосів:

- **Перша секція шин:** живить насоси №2, №4, №6.
- **Друга секція шин:** живить насоси №1, №3, №5.

Кожна секція отримує живлення через окремий трансформатор, що дозволяє уникнути перевантаження та забезпечує надійність роботи станції.

СХЕМА

Для зниження напруги на підстанції використовуються трансформатори типу ТМГ-2500 із номінальною потужністю 2500 кВА. Основні характеристики трансформаторів:

Первинна напруга: 35 кВ.

Вторинна напруга: 6 кВ.

Номінальний струм: 240.4 А (розраховано для вторинної напруги).

ККД: 98%.

Струм трансформатора на стороні низької напруги визначається за формулою:

$$I_{\text{втор}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{втор}}} \quad (1.8)$$

де $S = 2500$ кВА,

$U_{\text{втор}} = 6$ кВ

$$I_{\text{втор}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6} = 240.4 \text{ А}$$

Кабельні лінії забезпечують передачу енергії до розподільчих пристроїв насосної станції. Їхній опір залежить від довжини, перерізу та матеріалу кабелю. Втрати потужності в кабелях визначаються за формулою:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \quad (1.9)$$

де I – струм у кабелі,

R – активний опір кабелю.

Сумарна потужність насосів залежить від кількості одночасно працюючих агрегатів. Потужність одного насоса становить 630 кВт. Для n працюючих насосів загальна споживана потужність визначається як:

$$P_{\text{заг}} = n \cdot P_{\text{один}} \quad (1.10)$$

де $P_{\text{один}} = 630$ кВт

Для шести насосів:

$$P_{\text{заг}} = 6 \cdot 630 = 3780 \text{ кВт}$$

Система резервування включає:

1. Два незалежні введення від підстанції, які працюють окремо для кожної секції шин.

2. Система автоматичного включення резерву (АВР): у разі відключення однієї секції забезпечується автоматичне переключення на резервне джерело живлення. АВР працює на основі реле напруги, яке спрацьовує при зниженні напруги нижче 85% від номінального значення.

Час перемикання на резерв зазвичай становить 0.3–0.5 с, що дозволяє уникнути повної зупинки насосів.

Основними проблемами енергоживлення НС-13 є:

- Втрати потужності через старі кабельні лінії та трансформатори.
- Відсутність автоматизованого моніторингу, який дозволив би оцінювати стан системи в реальному часі.
- Обмежені можливості оптимізації роботи насосів через відсутність частотних перетворювачів.

Рекомендації:

- Замінити трансформатори на сучасні з підвищеним ККД.
- Встановити частотні перетворювачі для зниження енергоспоживання.
- Інтегрувати системи інтелектуального моніторингу для прогнозування аварійних ситуацій.

1.6 Аналіз ефективності енергоспоживання

Насосна станція №13 споживає електроенергію через асинхронні електродвигуни типу А4-450-8У3, які живляться від мережі середньої напруги (6 кВ). Основними електричними характеристиками є:

Номінальна потужність: $P_{\text{ном}}=630$ кВт,

Коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$): 0.85,

Струм: розраховується за формулою:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (1.11)$$

де $P = 630$ кВт, $U = 6$ кВ

Розрахунок для одного двигуна:

$$I = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0.85} = 71.3 \text{ А}$$

Сумарний струм для трьох працюючих насосів:

$$I_{\text{заг}} = 3 \cdot I = 3 \cdot 71.3 = 213.9 \text{ А}$$

Передача електроенергії до насосної станції супроводжується втратами у кабельних лініях, які можна розрахувати за формулою:

$$\Delta P_{\text{кабель}} = I^2 \cdot R \quad (1.12)$$

де:

$I = 213.9$ А – струм у лінії,

R – активний опір кабелю.

При довжині кабелю $L=500$ м та питомому опорі $\rho=0.0178\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ для перерізу кабелю $S=95$ мм^2 , опір:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{0.0178 \cdot 500}{95} = 0.0937 \text{ Ом}$$

Втрати потужності:

$$\Delta P_{\text{кабель}} = I^2 \cdot R = 213.9^2 \cdot 0.0937 = 4227 \text{ Вт} = 4.28 \text{ кВт}$$

Річні втрати:

$$\Delta W_{\text{кабель}} = \Delta P_{\text{кабель}} \cdot t = 4.28 \cdot 8760 = 37\,432 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Трансформатори, що живлять насосну станцію №13, мають власні втрати потужності:

1. Втрати холостого ходу ($P_{\text{хх}}$)

$$P_{\text{хх}} = 2.5 \text{ кВт (за даними паспорта)}$$

Для двох трансформаторів:

$$P_{\text{хх,заг}} = 2 \cdot 2.5 = 5 \text{ кВт}$$

2. Втрати короткого замикання ($P_{\text{кз}}$):

$$P_{\text{кз}} = \frac{I^2 \cdot R_{\text{обм}}}{2} \quad (1.13)$$

де $R_{\text{обм}} = 0.015$ Ом

Розрахунок для одного трансформатора:

$$P_{\text{кз}} = \frac{213.9^2 \cdot 0.015}{2} = 342.1 \text{ Вт}$$

Загальні втрати трансформаторів:

$$P_{\text{втрати,заг}} = P_{\text{хх,заг}} + 2 \cdot P_{\text{кз}} = 5 + 2 \cdot 0.342 = 5.68 \text{ кВт}$$

Річні втрати трансформаторів:

$$\Delta W_{\text{транс}} = P_{\text{втрати,заг}} \cdot t = 5.68 \cdot 8760 = 49\,732.8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальні втрати електроенергії:

Сумарні втрати електроенергії в мережі та трансформаторах становлять:
 $\Delta W_{\text{заг}} = \Delta W_{\text{кабель}} + \Delta W_{\text{транс}} = 37\,432.8 + 49\,732.8 = 87\,165.6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Порівняно з номінальним річним споживанням насосної станції:

$$\Delta W_{\text{відносні}} = \frac{\Delta W_{\text{заг}}}{W_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{87\,165.6}{16\,566\,400} \cdot 100\% = 0.53\%$$

Аналіз показав, що основні втрати енергії припадають на кабельні лінії та трансформатори. Загальні втрати становлять близько 87,165.6 кВт·год на рік, що відповідає 0.53% від загального споживання насосної станції. Незважаючи на відносно невеликі втрати, їх зменшення може підвищити загальну ефективність енергоспоживання.

1.7 Принцип роботи перетворювачів частоти

Перетворювач частоти (ПЧ) - це складний електронний пристрій, який дозволяє змінювати частоту і амплітуду напруги, що подається на електродвигун. Цей процес дає змогу точно регулювати швидкість обертання електродвигуна, що, у свою чергу, забезпечує можливість адаптувати роботу насосів до змінних умов навантаження, а також дозволяє значно знижувати енергоспоживання у непікові періоди. Застосування ПЧ є надзвичайно важливим для насосних станцій, оскільки дозволяє оптимізувати роботу насосів, знижувати витрати на електроенергію та продовжувати термін служби обладнання (рис. 1.5).

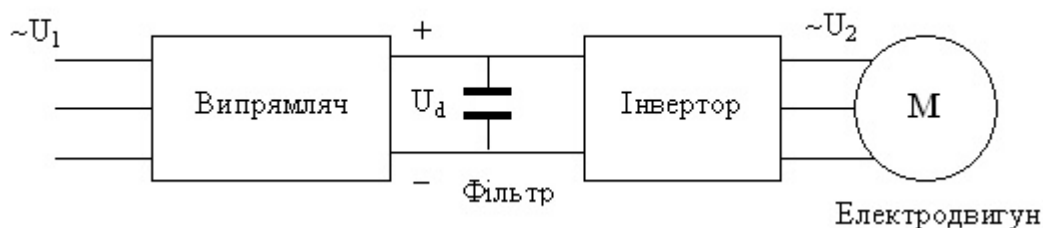


Рисунок 1.5 – Загальний схема ПЧ

Перетворювач частоти складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує свою роль у процесі регулювання швидкості обертання електродвигуна. Для забезпечення стабільної роботи насосної станції всі компоненти повинні працювати злагоджено, щоб забезпечити ефективне енергоспоживання і високий рівень надійності обладнання.

1. Випрямляч

Першим етапом у роботі ПЧ є випрямлення змінного струму (АС) в постійний струм (DC). Цей процес здійснюється за допомогою випрямляча, який складається з набору діодів або тиристорів.

- Діодний випрямляч: найбільш поширений для малопотужних установок. Діоди забезпечують односпрямований потік струму, пропускаючи його лише в одному напрямку. Діодні випрямлячі прості у виготовленні, надійні і дешеві, однак вони не дозволяють регулювати параметри струму.
- Тиристорний випрямляч: використовується для більш потужних систем, де необхідно забезпечити кращий контроль над потоком струму. Тиристири дозволяють краще регулювати вихідний струм і зменшувати пульсації.

Основні завдання випрямляча:

- Перетворити змінний струм з мережі на постійний.
- Усунути коливання напруги та підготувати постійну напругу для подальшої обробки.

2. Фільтри

Після випрямлення змінного струму постійний струм все ще містить пульсації, тому на наступному етапі використовується фільтрація для згладжування цих пульсацій. Фільтри є важливою частиною ПЧ, оскільки вони забезпечують стабільність постійної напруги, яку подають на наступний етап - інвертор.

Типи фільтрів:

- LC-фільтри (комбінація індуктивності та конденсаторів): використовуються для зменшення пульсацій низької частоти. Індуктивність блокує високочастотні коливання, а конденсатори згладжують низькочастотні пульсації.
- Активні фільтри: використовуються для більш точного згладжування пульсацій і для зменшення гармонік, що можуть впливати на якість енергопостачання.

Фільтрація необхідна для забезпечення стабільності роботи двигунів, оскільки навіть невеликі пульсації можуть спричинити збої в роботі насоса, а також підвищити енергоспоживання та зменшити ефективність.

3. Інвертор

Інвертор є основним компонентом перетворювача частоти. Його завдання — перетворити постійну напругу в змінну з потрібною частотою, що дозволяє регулювати швидкість обертання електродвигуна.

Принцип роботи інвертора: Інвертор приймає постійну напругу і за допомогою **IGBT-транзисторів (Insulated Gate Bipolar Transistor)** перетворює її в змінну напругу з бажаною частотою та амплітудою. Транзистори IGBT дозволяють точно контролювати вихідну частоту і амплітуду напруги, забезпечуючи ефективне керування швидкістю обертання електродвигуна.

Модуляція ширини імпульсу (PWM): Для регулювання амплітуди і частоти змінної напруги в інверторі використовується метод модуляції ширини імпульсу (PWM). Цей метод дозволяє генерувати змінний струм з високою точністю, зменшуючи при цьому рівень електричних спотворень.

Інвертор є серцем ПЧ і дозволяє точно налаштувати швидкість обертання насосів, що є критично важливим для адаптації до реальних умов роботи системи водопостачання.

4. Система керування

Система управління є інтегрованою частиною ПЧ, яка забезпечує регулювання і моніторинг всіх процесів, що відбуваються в пристрої. Вона контролює напругу, частоту, та амплітуду вихідного струму, забезпечуючи стабільну роботу насосів.

Програмовані логічні контролери (PLC) або мікропроцесорні системи: Вони автоматично коригують параметри роботи ПЧ, налаштовуючи частоту і амплітуду в залежності від заданих значень для кожного насоса. Це дозволяє насосним станціям працювати в оптимальних умовах і забезпечує ефективне регулювання навантаження.

Моніторинг і захист: Система управління також контролює працездатність перетворювача частоти, автоматично вмикаючи захисні функції у разі перевантаження або аварії, що зменшує ризик поломок і підвищує безпеку роботи.

Процес роботи ПЧ складається з трьох основних етапів, які взаємодіють між собою, перетворюючи змінний струм на стабільний, з необхідною частотою і амплітудою для подачі на електродвигун.

1. Випрямлення змінного струму

Перше, що відбувається при подачі змінного струму на ПЧ — це його випрямлення. На цьому етапі змінний струм (напруга мережі, наприклад, 50 Гц) перетворюється в постійний. Це відбувається за допомогою випрямляча — пристрою, який здійснює перетворення змінного струму в односторонній (постійний). Випрямляч складається з набору діодів або тиристорів, що дозволяють струму проходити лише в одному напрямку. Змінний струм, який має характерні синусоїдальні коливання, у результаті цієї операції перетворюється на пульсуючий постійний струм.

Випрямлення змінного струму є необхідним кроком, оскільки для управління електродвигуном потрібна стабільна постійна напруга, що далі буде інвертована в змінний струм з потрібною частотою. Для малих потужностей зазвичай використовуються діодні мости, а для більш потужних систем застосовуються тиристорні мости, які дозволяють не тільки перетворювати струм, але й мати кращий контроль за напругою і її варіаціями.

Однак після випрямлення на виході утворюється пульсуючий постійний струм, тому наступним етапом є згладжування цих пульсацій.

2. Фільтрація постійного струму

Після випрямлення змінного струму в постійний, на виході утворюється постійний струм з пульсаціями. Оскільки для подальшої роботи двигуна потрібно мати стабільний постійний струм, пульсації повинні бути усунені. Для цього використовується фільтрація, яка згладжує ці коливання. Найчастіше використовуються LC-фільтри, що складаються з індуктивності (L) і конденсаторів (C).

Індуктивність блокує високочастотні коливання, а конденсатор допомагає згладити низькочастотні пульсації, забезпечуючи більш рівну постійну напругу. Цей процес є критичним для стабільної роботи двигуна, оскільки навіть незначні пульсації можуть призвести до збоїв у роботі насоса, зниження його ефективності або навіть поломки.

Важливо відзначити, що фільтрація не лише згладжує пульсації, але й покращує загальну якість електроенергії, що подається на двигун, запобігаючи виникненню електричних гармонік.

3. Інвертування постійного струму в змінний

Останнім етапом у роботі перетворювача частоти є інвертування постійного струму в змінний, що дозволяє адаптувати частоту і амплітуду напруги відповідно до вимог для роботи електродвигуна. Інвертор, який є

основним компонентом цього етапу, використовує транзистори IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), щоб точно керувати вихідним змінним струмом. Інвертор перетворює чисто постійну напругу в змінну з необхідними параметрами: частотою та амплітудою.

Завдяки інвертору, ПЧ дозволяє регулювати швидкість обертання асинхронного двигуна, що є критично важливим для роботи насосів. Керування частотою змінного струму дозволяє змінювати швидкість обертання насоса, що дозволяє адаптувати продуктивність до поточних потреб, таких як зміна витрат води або зміна навантаження в трубопроводах.

Для точного керування частотою обертання використовується метод модуляції ширини імпульсу (PWM). Цей метод дозволяє точніше контролювати амплітуду вихідного струму та знижує рівень спотворень, які можуть виникати в процесі інвертування.

Перетворювач частоти дозволяє значно підвищити ефективність роботи насосів, знижуючи енергоспоживання, а також зменшує механічне навантаження на обладнання завдяки плавному запуску і зупинці. Основні переваги застосування ПЧ:

- Зниження енергоспоживання: Регулювання частоти обертання дозволяє зменшити споживану потужність на насосах в непікові періоди.
- Плавний запуск і зупинка: Це знижує пускові струми та зменшує механічні навантаження на компоненти насосної станції, знижуючи ймовірність поломок.
- Покращення стабільності роботи: Точне регулювання тиску у трубопроводах завдяки змінній швидкості обертання насосів забезпечує рівномірну подачу води.

Проте є й певні недоліки:

- Висока початкова вартість: Встановлення ПЧ потребує значних інвестицій на закупівлю та налаштування.
- Необхідність модернізації системи: Для інтеграції ПЧ потрібно модернізувати частину існуючої інфраструктури (системи управління, живлення).
- Потенційні проблеми з гармоніками: ПЧ можуть генерувати електричні гармоніки, які потребують встановлення додаткових фільтрів.

Застосування перетворювачів частоти (ПЧ) на насосних станціях дає можливість оптимізувати роботу насосів, знижуючи енергоспоживання, підвищуючи механічну ефективність і стабільність роботи системи. Відмінною рисою ПЧ є те, що вони дозволяють регулювати швидкість обертання електродвигунів, що дає змогу адаптувати роботу насосів до змінних умов навантаження та оптимізувати їхню продуктивність. Зокрема, це особливо важливо для систем водопостачання та водовідведення, де вимоги до продуктивності насосів змінюються залежно від потреб.

Вплив на енергоспоживання

Однією з основних причин застосування ПЧ на насосних станціях є значне зниження енергоспоживання. Потужність, яку споживають насоси, пропорційна кубу швидкості обертання двигунів. Це означає, що навіть невелике зниження швидкості обертання призводить до великої економії енергії. Оскільки енергоспоживання насосів безпосередньо залежить від швидкості їх обертання, регулювання частоти живлення двигунів дозволяє точно адаптувати продуктивність насосів до поточних потреб, що є важливим фактором для забезпечення енергоефективності насосної станції.

Для прикладу, при зниженні частоти на 20% (тобто зменшення швидкості обертання на 20%), споживана потужність насоса зменшується на 50%. Це дозволяє в періоди зниженого навантаження значно знижувати споживану потужність без втрати якості обслуговування. Наприклад, якщо насос споживає 630 кВт в номінальному режимі, зниження частоти до 40 Гц дозволить знизити споживану потужність до 322.6 кВт. Для трьох насосів загальна потужність зменшиться до 967.8 кВт замість 1890 кВт, що означає економію до 50% енергії в періоди зменшеного попиту.

Завдяки такому регулюванню, застосування ПЧ дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію без втрати в ефективності роботи насосної станції.

Застосування ПЧ також забезпечує значне покращення механічної ефективності насосів. Однією з основних переваг є можливість плавного запуску насосів. Без використання ПЧ, при запуску насосів, виникають пускові струми, які можуть бути в кілька разів більші за номінальні. Це створює велике механічне навантаження на компоненти насоса, зокрема на підшипники, ущільнення та з'єднання, що призводить до їх швидкого зношування. Плавний запуск при використанні ПЧ дозволяє значно зменшити пускові струми та механічне навантаження, знижуючи ризик пошкодження обладнання.

Більш того, ПЧ дозволяють здійснювати плавну зупинку насосів, що також є важливим для зниження механічних навантажень. Без ПЧ, при вимкненні насоса виникають різкі коливання навантаження, що може спричинити перевантаження на механічні частини та з'єднання. З ПЧ насос зупиняється поступово, що мінімізує цей ефект.

Завдяки таким властивостям ПЧ зменшують механічні навантаження на компоненти насосів, що дозволяє значно продовжити термін їх служби та знижує витрати на технічне обслуговування.

Окрім економії енергії та покращення механічної ефективності, застосування ПЧ підвищує надійність і безпеку роботи насосної станції. ПЧ дозволяють точніше регулювати роботу насосів, підтримуючи стабільний тиск у трубопроводах і забезпечуючи необхідну продуктивність при мінімальних витратах енергії.

Однією з важливих функцій є автоматичне вимкнення насосів при аварійних ситуаціях або перевантаженнях. ПЧ можуть бути налаштовані таким чином, щоб виявляти будь-які відхилення від нормальних параметрів,

таких як перевищення температури або струму. Це дозволяє системі швидко реагувати на несправності, мінімізуючи ризик поломок і запобігаючи серйозним аваріям.

Завдяки інтеграції ПЧ з автоматизованими системами управління (SCADA), оператори насосної станції можуть в режимі реального часу контролювати стан насосів і регулювати їх роботу. Всі параметри роботи системи, такі як тиск, температура, швидкість обертання насосів, можуть бути моніторингівся в автоматичному режимі. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення та оперативно коригувати роботу системи.

Застосування ПЧ дозволяє насосним станціям адаптувати свою роботу до змінних умов навантаження. Традиційно, на насосних станціях продуктивність насосів є фіксованою, що призводить до перевитрат енергії в непікові періоди і неефективного використання ресурсів. З ПЧ швидкість обертання насосів автоматично коригується в залежності від фактичних потреб, що дозволяє знижувати енергоспоживання при низькому навантаженні та підвищувати продуктивність при високому.

Наприклад, в умовах змінного рівня води в резервуарах або різних вимог до витрат, система може автоматично зменшувати швидкість насосів без зниження якості водопостачання, що дозволяє досягти максимальної енергоефективності.

У разі зниження попиту або зміни рівня води ПЧ може автоматично знизити швидкість насосів, що мінімізує витрати енергії при забезпеченні стабільного водопостачання.

Завдяки своїм можливостям для точного регулювання, ПЧ можуть бути інтегровані з іншими системами управління на насосній станції. Це дозволяє синхронізувати роботу насосів з іншими елементами інфраструктури, такими як системи моніторингу та автоматизованого управління (SCADA), що дозволяє здійснювати централізовану настройку параметрів насосної станції та інтеграцію з іншими процесами підприємства.

ПЧ також можуть бути обладнані додатковими функціями захисту від коротких замикань, перенапруг, перевантаження, що ще більше підвищує надійність і безпеку.

Висновки по розділу 1

У першому розділі розглянуто загальні характеристики системи енергопостачання ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", її багаторівневу структуру та ключові елементи, зокрема високовольтні підстанції, трансформатори, розподільчі мережі та насосні станції. Обґрунтовано важливість замкненого водооборотного циклу для зменшення споживання свіжої води та дотримання екологічних стандартів.

Детально описано роботу насосних станцій підприємства, які забезпечують транспортування великих обсягів шламових вод і охолодження технологічного обладнання. Показано значення насосної станції №13, яка є

ключовою в структурі водооборотного циклу, завдяки своїй продуктивності та резервуванню енергопостачання.

Визначено основні проблеми роботи НС-13, зокрема високе енергоспоживання через фіксовану продуктивність насосів та обмежені можливості автоматизації. Обґрунтовано необхідність модернізації станції шляхом впровадження частотних перетворювачів для регулювання продуктивності насосів і розробки сучасної SCADA-системи, яка дозволить підвищити ефективність і надійність роботи.

У другому розділі розглянуто технічні характеристики обладнання насосної станції №13, включаючи насоси Д6300-27 та асинхронні електродвигуни А4-450-8У3. Детально проаналізовано схему енергоживлення НС-13, включаючи два незалежні введення від підстанції КРЗ-9, систему резервування та автоматичного включення резерву (АВР).

Виконано оцінку існуючих режимів роботи насосів, включаючи номінальний режим, режим із частотним регулюванням та черговий режим. Наведено переваги та недоліки кожного з них, а також проведено розрахунки продуктивності, потужності та енерговитрат для реальних умов експлуатації.

Виконано аналіз ефективності енергоспоживання насосів у номінальному режимі. Розраховано гідравлічну потужність, коефіцієнт корисної дії та річні втрати енергії. Проаналізовано електричні втрати у кабельних лініях і трансформаторах, які сумарно становлять 87,165.6 кВт·год на рік.

Отримані результати свідчать про значні втрати енергії через роботу насосів у фіксованому режимі та потребу в адаптації режимів до змінних умов.

Розділ 2

Використання перетворювачів частоти (ПЧ)

2.1 Аналіз поточної роботи насосів без ПЧ

Енергоживлення насосної станції №13 (НС-13) є ключовим елементом забезпечення її безперебійної роботи. Стабільність роботи насосів і електродвигунів, які є основними споживачами електроенергії на станції, залежить від надійності схеми енергоживлення, правильного розподілу навантаження між секціями та ефективності резервування. У цьому підрозділі детально розглянемо структуру енергоживлення НС-13, її особливості та виконаємо основні розрахунки.

На насосній станції №13 (НС-13) встановлені три насоси типу Д6300-27, які працюють на фіксованій частоті обертання двигунів при номінальній частоті 50 Гц. Це означає, що потужність насосів, а отже і їх продуктивність, залишається сталою, незалежно від змін навантаження або умов роботи системи водопостачання.

Ці насоси споживають максимальну потужність, коли система працює на повному навантаженні, але не мають можливості адаптувати свою швидкість обертання до змінних умов, що часто виникають в процесі експлуатації.

У традиційних насосних станціях такого типу, де використовується фіксована швидкість обертання, насос не має можливості регулювати свою продуктивність або змінювати витрату енергії відповідно до реальних вимог, що виникають в залежності від часу доби, змін кліматичних умов чи сезонних коливань споживання води.

У традиційних насосних системах, де використовуються агрегати без ПЧ, швидкість обертання насосів не змінюється в залежності від потреби в системі водопостачання. Це створює кілька важливих технічних проблем.

1. **Перевитрата енергії:** без можливості регулювання частоти обертання насосів, вони продовжують працювати на номінальній потужності незалежно від потреби в воді, що створює великі перевитрати енергії, особливо в періоди низького споживання або зниженого попиту. У такі періоди насоси працюють на максимумі своїх можливостей, хоча реальна потреба в їх продуктивності значно знижується.

2. **Неможливість оптимізації роботи:** Традиційна система без ПЧ не дозволяє підлаштовувати швидкість обертання насосів під поточні умови, що призводить до неефективного використання ресурсів, таких як енергія, без зниження продуктивності. Наприклад, вночі або в міжсезонний період, коли потреба в водопостачанні знижується, насоси працюють на максимальних швидкостях, споживаючи значну кількість енергії без реальної потреби в такій потужності.

При роботі насосів на фіксованій швидкості обертання без використання ПЧ, відбуваються певні технічні наслідки, які негативно впливають на енергоефективність і надійність роботи насосної станції:

Підвищене механічне навантаження: Оскільки насоси працюють на постійній швидкості, пускові струми можуть бути в 4-6 разів більшими за номінальні, що призводить до значного механічного навантаження на підшипники та інші рухомі частини насосів. Це збільшує зношування компонентів і скорочує термін служби обладнання. Без ПЧ неможливо згладити пускові струми, що має негативний вплив на довговічність насосів.

Механічні удари та вібрації: При постійному обертанні насосів на високих швидкостях, навіть якщо продуктивність системи не вимагає таких значень, можуть виникати механічні удари і вібрації, що погіршують стан насосного обладнання. Високі рівні вібрацій можуть призвести до пошкодження з'єднань, підшипників, ущільнень та навіть труби, що вимагає додаткових витрат на ремонт і обслуговування.

Система без ПЧ не може адаптувати свою продуктивність до змінних умов навантаження, що призводить до значних перевитрат енергії. У періоди, коли потреба в водопостачанні знижується, насос продовжує працювати на повну потужність, що не є економічно виправданим.

Енергоспоживання: У номінальному режимі роботи, насос споживає постійну потужність, яка в свою чергу не змінюється в залежності від змінних умов. Це означає, що навіть коли насос працює на половину своєї номінальної продуктивності, він все одно споживає максимальну потужність. У довгостроковій перспективі це призводить до перевитрат енергії.

У періоди зменшеного попиту на воду або під час зниженого рівня води в резервуарах, ця кількість енергії витрачається без реальної потреби, що є великою економічною проблемою.

Використання фіксованої швидкості обертання має кілька інших важливих недоліків:

1. Невідповідність попиту і пропозиції: Оскільки насоси працюють на постійній швидкості, вони не можуть змінювати свою продуктивність в залежності від змін в системі, таких як зміни рівня води або перепадів тиску в трубопроводах. Це може призвести до нераціонального використання води або її недостачі в пікові періоди.

2. Необхідність у модернізації: У разі зростання попиту на воду або змін в технічних вимогах (наприклад, збільшення довжини трубопроводів), необхідно проводити дорогі модифікації обладнання. Відсутність можливості адаптації насосів до нових умов без ПЧ може призвести до значних витрат на модернізацію і реконструкцію станції.

Основною причиною перевитрат енергії на насосних станціях, де використовуються традиційні насоси без перетворювачів частоти, є те, що насосні агрегати працюють на постійній швидкості обертання електродвигунів. В результаті насос працює на максимальній потужності навіть тоді, коли продуктивність не відповідає реальним потребам системи.

У таких умовах насос продовжує споживати енергію на рівні номінальної потужності, навіть якщо це не потрібно для задоволення

поточного попиту на воду. Тому насосна станція не може адаптувати свою роботу до змінних умов, таких як коливання рівня води, сезонні зміни попиту або варіації в тиску в трубопроводах.

Споживана потужність насосами пропорційна кубу швидкості обертання їх двигунів. Це означає, що навіть незначне зниження швидкості обертання може призвести до значного зниження енергоспоживання. У випадку фіксованої швидкості обертання, потужність не може бути адаптована під змінні потреби, що веде до неефективного використання енергії.

У реальних умовах роботи насосної станції попит на воду не завжди стабільний. Наприклад, вночі або в міжсезонний період потреба в водопостачанні може знижуватися, проте насоси продовжують працювати на максимальній швидкості, витрачаючи енергію на рівні номінальних параметрів.

Це означає, що система споживає енергію без реальної потреби, що є перевитратою і негативно впливає на економічні показники насосної станції. Наприклад, якщо насос працює на 100% продуктивності, але фактична потреба в воді складає тільки 50%, тоді половина енергії, що споживається насосами, йде на "даремну" роботу.

У періоди зниженого попиту (вночі, вихідні, міжсезоння), коли рівень споживання води знижується, насосна станція все одно продовжує працювати на повну потужність, що є економічно неефективним і призводить до значних перевитрат енергії.

Оскільки насоси працюють на фіксованій швидкості обертання, вони не можуть змінювати свою продуктивність у відповідь на змінні умови. Якщо потреба в воді зменшується, насоси продовжують працювати з тією ж продуктивністю, яка не є оптимальною для поточної ситуації. Це веде до наступних технічних і економічних проблем:

- **Перевитрата енергії:** Насоси продовжують споживати енергію на номінальному рівні, хоча фактична продуктивність, яка потрібна для системи, значно знижується. Це призводить до витрат електроенергії, які не відповідають фактичному попиту на воду.

- **Зношування обладнання:** Постійна робота на фіксованій швидкості призводить до підвищених механічних навантажень на насосне обладнання. Це може викликати зношування підшипників, ущільнень та інших частин насоса, що збільшує витрати на технічне обслуговування та ремонти.

- **Невідповідність потужності і потребам:** У традиційних системах без частотного регулювання немає можливості адаптувати роботу насосів до змінних умов. Це може призвести до того, що насос працює з надмірною потужністю, в той час як споживана продуктивність значно знижується.

Енергоживлення НС-13 здійснюється від підстанції КРЗ-9, яка знижує напругу з 35 кВ до 6 кВ.

Насосні станції, які працюють без використання перетворювачів частоти

(ПЧ), стикаються з кількома технічними проблемами, що безпосередньо пов'язані з постійною швидкістю обертання насосів. Оскільки насоси працюють на фіксованій частоті обертання (як правило, 50 Гц), їх продуктивність і потужність не можуть бути змінені відповідно до змінних умов роботи або навантаження в системі. Це має кілька негативних наслідків для насосного обладнання, які впливають на ефективність роботи станції та її довговічність.

Першою і найбільш значущою проблемою є високі пускові струми, які виникають при включенні насосів без ПЧ. У традиційних насосних системах, коли відсутнє регулювання частоти, при запуску двигунів спостерігається стрибок струму, що може бути в кілька разів більшим за номінальний. Це призводить до значного механічного навантаження на всі елементи насоса, включаючи підшипники, вал, з'єднання та ущільнення. Пускові струми викликають миттєві ударні навантаження на насосне обладнання, що, в свою чергу, прискорює їх зношування та потребує більш частого технічного обслуговування.

Крім того, навіть коли насос працює на постійній швидкості обертання, є ще один важливий аспект - постійне механічне навантаження на компоненти насоса через невідповідність між реальними умовами роботи і його максимальною продуктивністю. Наприклад, коли насос працює на постійній швидкості, але попит на воду зменшується, насос все одно продовжує працювати з тією ж продуктивністю. Це спричиняє надмірні навантаження на його механічні частини, такі як підшипники та ущільнення. Робота без можливості регулювання швидкості в таких випадках знижує загальну ефективність і веде до прискореного зношування.

Ще однією важливою проблемою є високий рівень вібрацій, які виникають при фіксованій швидкості обертання. Вібрації є природною наслідком нерівномірного навантаження на насосне обладнання. У випадку, коли насос працює при незмінній швидкості, навіть незначні зміни в навантаженні або коливання тиску в трубопроводах можуть викликати серйозні механічні коливання, які призводять до пошкоджень підшипників, з'єднань та корпусів насосів. Високий рівень вібрацій також може впливати на трубопроводи, знижуючи їх стійкість до механічних навантажень, що збільшує ймовірність пошкоджень системи.

З точки зору зношування обладнання, постійне високоякісне навантаження на насосне обладнання призводить до значного скорочення терміну служби елементів, таких як підшипники, вали, ущільнення і герметичні елементи. Немає можливості коригувати швидкість обертання двигунів відповідно до змін в споживанні води або рівні води в резервуарах, що викликає додатковий механічний стрес і прискорює знос насосів. Це спричиняє збільшення витрат на технічне обслуговування та ремонт насосного

обладнання.

Завдяки фіксованій швидкості обертання також відсутня можливість зниження механічного навантаження на насос в момент зниження навантаження в системі. Наприклад, в періоди, коли тиск в системі падає або попит на воду зменшується, насос продовжує працювати на постійному рівні потужності, що викликає додаткові механічні навантаження.

Що стосується ремонтів і технічного обслуговування, то на насосних станціях, що працюють без ПЧ, через високий рівень пускових струмів, вібрацій та постійних механічних навантажень, виникає необхідність частих перевірок та обслуговування насосного обладнання. Це не лише збільшує витрати на обслуговування, але й знижує надійність роботи насосної станції, що може призвести до непередбачених зупинок і поломок.

Основною проблемою використання насосів на фіксованій швидкості є відсутність гнучкості в їх управлінні. Система не здатна адаптувати роботу насосів до змінних умов навантаження, що призводить до низької стабільності роботи насосної станції. Коли насос працює на постійній швидкості, навіть при коливаннях тиску чи попиту на воду, насос не може змінити свою швидкість для оптимального покриття цих змін. Як результат, система може працювати надмірно або недостатньо, що порушує баланс в системі водопостачання.

Коли насос працює на фіксованій швидкості, відсутність адаптації до змін в попиті на воду або змінах рівня води в резервуарах призводить до коливань тиску в трубопроводах. У моменти зменшення попиту насос продовжує працювати з максимальною продуктивністю, що може призвести до перевищення тиску в трубопроводах, що, в свою чергу, викликає гідравлічні удари.

Гідравлічні удари — це раптові зміни тиску в трубопроводах, що виникають через неконтрольовану роботу насосів або зміни швидкості потоку води. Вони можуть призвести до серйозних пошкоджень трубопроводів, насосного обладнання і з'єднань, що знижує стабільність і надійність роботи насосної станції.

Більш того, наявність таких коливань тиску у трубопроводах, спричинених нестабільною роботою насосів, може негативно вплинути на ефективність водопостачання та порушити рівномірний розподіл води по споживачах. Це створює додаткові технічні труднощі і вимагає додаткових затрат на підтримку системи.

Без можливості регулювання швидкості обертання насосів, що дає ПЧ, стабільність роботи насосної станції значно погіршується через підвищене навантаження на трубопроводи та інші елементи системи. При відсутності частотного регулювання насос продовжує працювати на високих оборотах, навіть коли в системі спостерігається зниження попиту на воду. Це створює

ризик перевантаження трубопроводів, що може призвести до їх деформації або навіть до розривів.

Зокрема, постійне високоефективне навантаження на системи трубопроводів може призвести до непередбачуваних аварій, таких як протікання через герметичні з'єднання або до пошкодження клапанів. Збої в стабільності тиску можуть викликати додаткові затрати на ремонти і модернізацію обладнання, що в кінцевому підсумку збільшує експлуатаційні витрати насосної станції.

У випадку традиційних насосних систем без ПЧ, насос працює на максимальній продуктивності незалежно від коливань в попиті. У результаті, система водопостачання не може ефективно реагувати на зменшення чи збільшення потреби в воді. Це може привести до ситуацій, коли насос працює із перевищенням потужності, витрачаючи зайву енергію, або навпаки — насос не може задовольнити потреби споживачів у воді через недостатню потужність.

У таких умовах насосна станція втрачає свою ефективність у роботі з різними режимами споживання води. Наприклад, в нічний час, коли споживання води значно зменшується, насоси працюють на максимальній потужності, що є економічно нераціональним і веде до перевитрат енергії.

Насосні станції, що працюють без ПЧ, мають значно меншу здатність адаптуватися до змін у навантаженні. У традиційних системах, де неможливо зменшити швидкість обертання насосів у відповідь на зниження попиту, не можна ефективно змінювати продуктивність насосів без втрат в енергоспоживанні та стабільності роботи системи.

Відсутність адаптивності до змін у рівні води, тиску, або варіацій у споживанні води означає, що насосна станція не може оптимізувати роботу насосів для забезпечення максимальних показників ефективності, і це призводить до перевитрат енергії і непотрібного зношування обладнання.

2.2 Розрахунок можливої економії електроенергії при впровадженні регулювання частоти

Робота насосних агрегатів може здійснюватися в кількох режимах, залежно від умов навантаження, потреб системи водообороту та типу обладнання. Основними режимами є номінальний, режим із частотним регулюванням та черговий. Кожен із них має свої переваги та недоліки.

Система перетворювачів частоти (ПЧ) є потужним інструментом для оптимізації роботи насосних агрегатів та зниження енергоспоживання на насосних станціях. У традиційних системах, де насосні агрегати працюють на фіксованій швидкості, є значна неефективність, особливо при змінних навантаженнях. Встановлення ПЧ дозволяє регулювати швидкість обертання електродвигунів насосів відповідно до поточних потреб системи, що в свою

чергу дає можливість значно зменшити енергоспоживання і забезпечити економічні переваги в довгостроковій перспективі.

Для оцінки економії енергії, яка може бути досягнута впровадженням перетворювачів частоти, розглянемо розрахунок на прикладі насосів, що працюють на станції без ПЧ. У стандартних умовах без ПЧ насоси працюють на постійній швидкості, що призводить до значних перевитрат енергії, оскільки система не може адаптувати продуктивність насосів до реальних потреб.

Технічні дані насосного агрегату в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні дані насосного агрегату

	Насос 1, 2, 3, 4, 5, 6
Тип насоса	Д6300-27
Номінальний напір $H_{ном}$, м	27
Діаметр робочого колеса Дроб. колеса, мм	705
Кіл-сть робочих колес, паспорт/факт	1 / 1
Номінальна подача $Q_{ном}$, м ³ /год	6300
Напір на вході $H_{вх}$, м	4
ККД насосного агрегату, %	88

	Двигун 1	Двигун 2, 3, 4, 5	Двигун 6
Тип двигуна	А4-450-8У3	А4-450У-8У3	А-13-52-8
Номінальна потужність $P_{ном}$, кВт	500	630	500
Номінальна напруга живлення $U_{ном}$, В	6000	6000	6000
Номінальний струм двигуна $I_{ном}$, А	61,4	68	61
$\eta_{ном}$, %	94,5	94,5	94
$\cos \varphi$	0,83	0,83	0,84
Номінальна швидкість обертання двигуна $N_{ном}$, об/хв	750	750	750

Напротязі усього року одночасно в роботі знаходиться один насос.

Розрахунок споживаної потужності під час роботи насоса від мережі

Формула для розрахунку споживаної потужності насоса виглядає так:

$$N_{\text{мережа}} = \frac{\rho \cdot g \cdot (H_{\text{іст}} - H_{\text{вс}}) \cdot Q}{\eta_1 \cdot \eta_{\text{дв}}} \quad (2.1)$$

де:

$N_{\text{мережа}}$ – споживана потужність від мережі (кВт),

ρ – щільність рідини, що перекачується (кг/м³),

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с²),

$H_{\text{іст}}$ – істинний тиск на викиді насоса (м),

$H_{\text{вс}}$ – тиск на всмоктуванні (м),

Q – витрата рідини, що перекачується, в робочій точці (м³/с),

η_1 – коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса в заданій робочій точці, (безрозмірна величина),

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД електродвигуна (безрозмірна величина).

Вихідні дані для розрахунку:

ρ (щільність води) = 1000 кг/м³ (для води);

$g = 9,81$ м/с²;

$H_{\text{іст}}$ – припустимо, що значення тиску на викиді насоса становить 30м;

$H_{\text{вс}}$ – припустимо, що тиск на всмоктуванні становить 5м;

Q – припустимо, що витрата рідини становить 1.75 м³/с

$\eta_1 = 0.85$

$\eta_{\text{дв}} = 0.95$

Розрахунок:

1. Різниця тиску на викиді та всмоктуванні:

$$H_{\text{іст}} - H_{\text{вс}} = 30 - 5 = 25 \text{ м}$$

2. Витрата рідини Q :

$$Q = 1.75 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{6300 \text{ м}^3/\text{год}}{3600 \text{ м}^3/\text{год}} \sim 1.75 \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Підставимо всі отримані значення у формулу:

$$N_{\text{мережа}} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 25 \cdot 1.75}{0.85 \cdot 0.95} = 531\,530,73 \text{ Вт} = 531,5 \text{ кВт}$$

Отже, споживана потужність від мережі для одного насоса складає 531,5 кВт.

Припустимо насос працює на протязі всього року:

$$W_{\text{ном}} = 531.5 \text{ кВт} \cdot 8760 \text{ год} = 4\,652\,940 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тобто, річне споживання електроенергії для одного насоса при заданих умовах становить 4 652 940 кВт · год.

А якщо на станції працює три насоси, то загальне споживання енергії буде:

$$W_{\text{ном}} = 3 \cdot 4\,652\,940 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 13\,958\,820 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунок споживаної потужності під час роботи насоса від перетворювача частоти

$$N_{\text{ПЧ}} = \frac{\rho \cdot g \cdot (H_{\text{необ}} - H_{\text{вс}}) \cdot Q}{\eta_1 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пч}}} \quad (2.2)$$

де:

$H_{\text{необ}}$ – необхідний тиск (після дроселювання на засувці);

η_1 – ККД насоса під час роботи на частотах нижче 50 Гц;

$\eta_{\text{пч}}$ – ККД перетворювача частоти.

Розрахунок економії електроенергії Розрахунок споживаної потужності під час роботи насосів заснований на показниках електроспоживання за даними від 3 січня до 31 липня 2023 року. За цей період у роботі у різні проміжки часу знаходилися насосні агрегати №1, 2, 3, 5, 6. На рисунках 2.1 - 2.6 наведені графіки споживаної потужності насосними агрегатами.

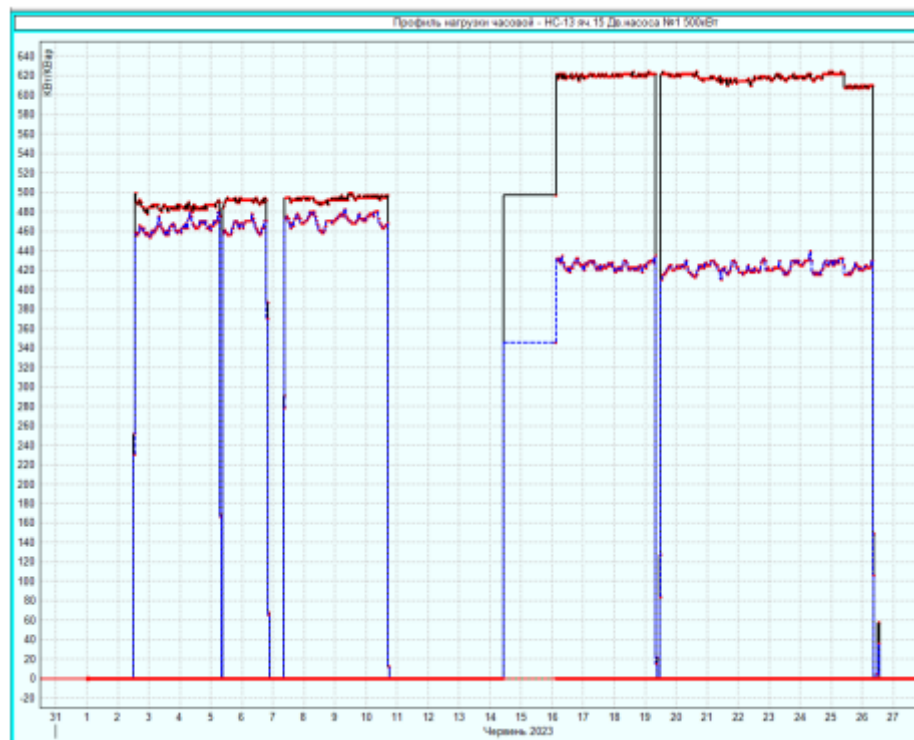


Рисунок 2.1 – Графік енергоспоживання насоса №1 за вказаний час

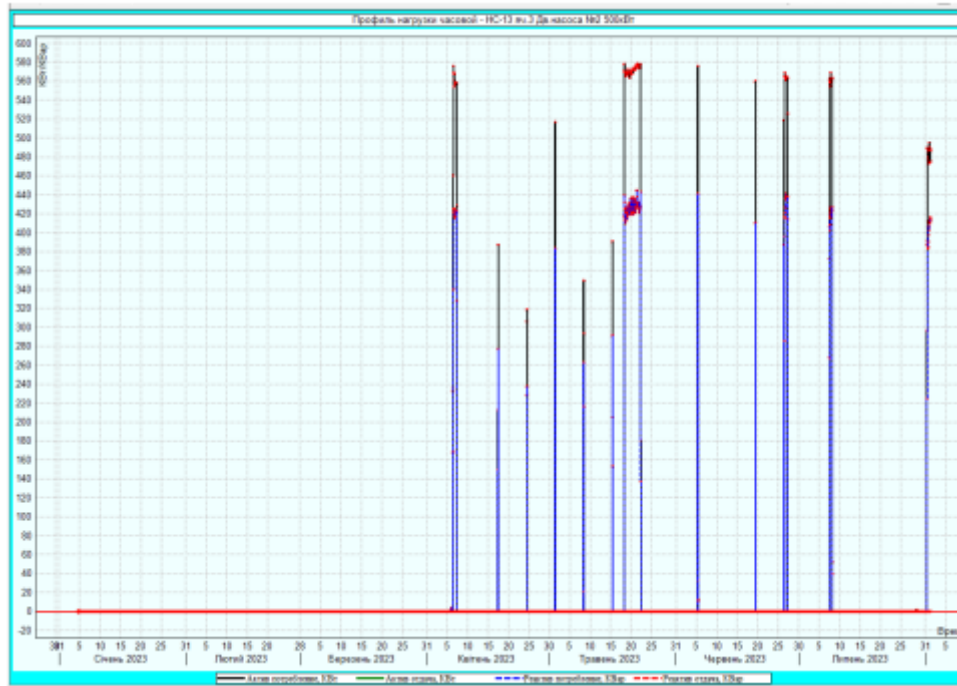


Рисунок 2.2 – Графік енергоспоживання насоса №2 за вказаний час

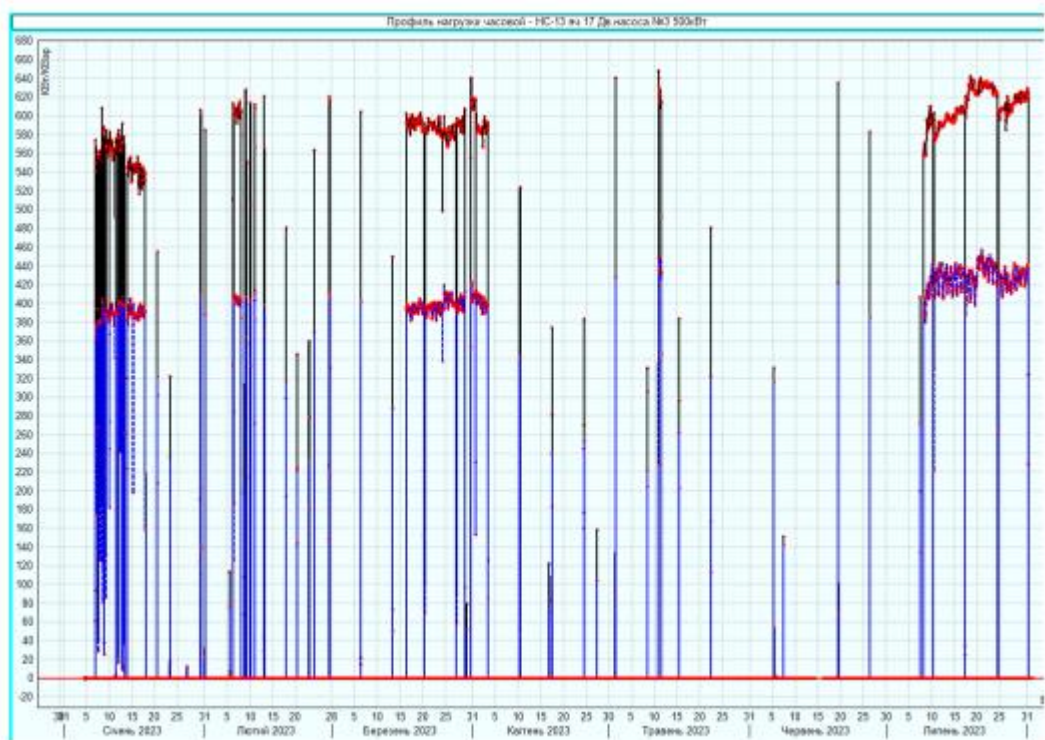


Рисунок 2.3 – Графік енергоспоживання насоса №3 за вказаний час

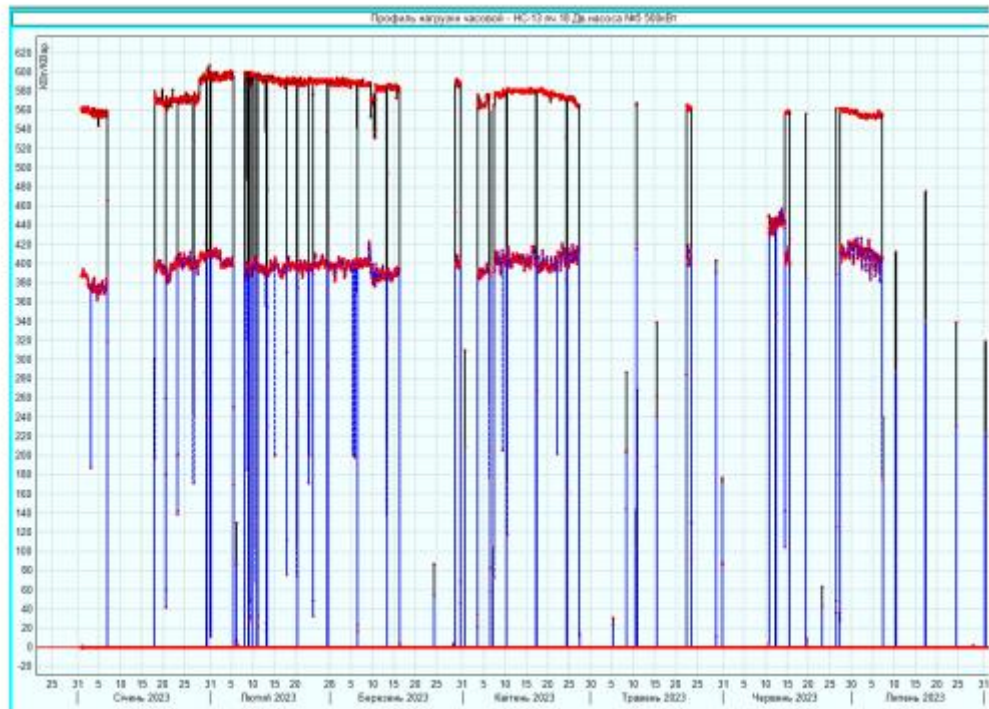


Рисунок 2.4 – Графік енергоспоживання насоса №5 за вказаний час

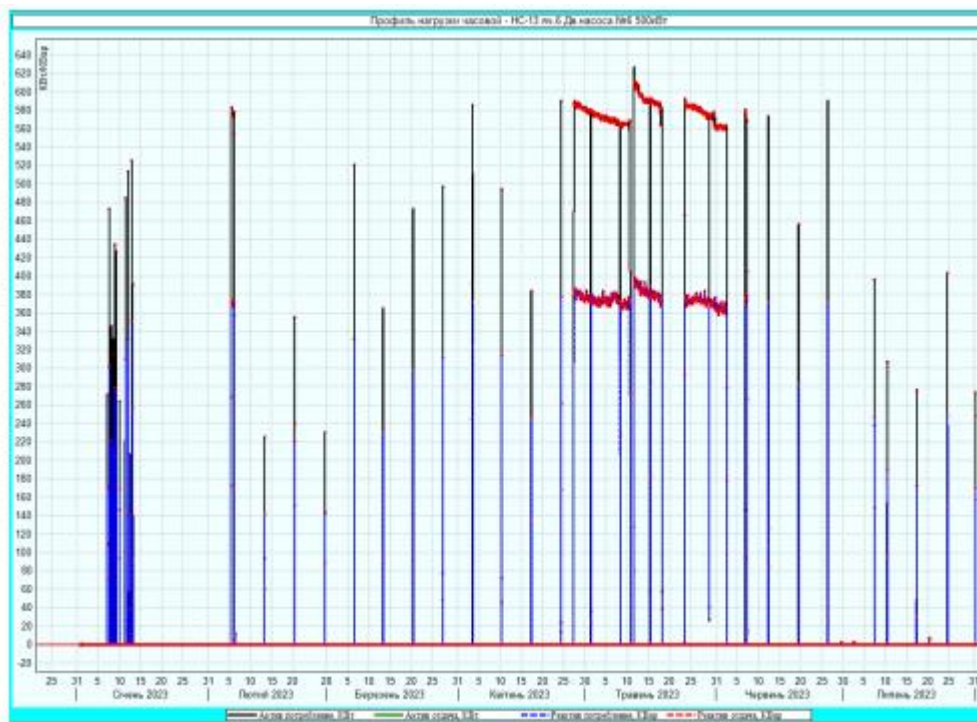


Рисунок 2.5 – Графік енергоспоживання насоса №6 за вказаний час

Таблиця 2.1 - Показання енергоспоживання двигунів насосних агрегатів

Механізм	Активна потужність			Реактивна потужність		
	Макс	Середня	Мін	Макс	Середня	Мін
Насос 1	624	624	610	440	430	410
Насос 2	577	570	568	444	430	414
Насос 3	640	610	560	457	430	381
Насос 4	Не був у роботі					
Насос 5	н/д	560	н/д	457	410	381
Насос 6	626	576	559	398	374	362

Розрахуємо споживану потужності під час роботи насоса від перетворювача частоти згідно формули:

$$N_{\text{ПЧ}} = \frac{\rho \cdot g \cdot (H_{\text{необ}} - H_{\text{вс}}) \cdot Q}{\eta_1 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пч}}} \quad (2.3)$$

де ρ – щільність рідини, що перекачується, прийнята 971,8 кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, прийнято рівним 9,81 м/с² ;

$H_{\text{необ}}$ – необхідний тиск (після дроселювання на засувці) дорівнює 3,0 кгс/см² ;

$H_{\text{вс}}$ – тиск на всмоктуванні дорівнює 1,2 кгс/см² ;

Q – витрата рідини, що перекачується, в робочій точці дорівнює 2000 м³/год;

η_1 – ККД насоса під час роботи на частотах нижче 50 Гц, прийнятий рівним 62 %;

$\eta_{\text{пч}}$ – ККД перетворювача частоти, прийнятий рівним 96 %.

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД двигуна згідно з паспортними даними

Для двигуна А4-450-8У3

$$N_{\text{ПЧ}} = \frac{971,8 \cdot 9,81 \cdot (3 - 1,2) \cdot 10 \cdot 2000/3600}{0,62 \cdot 0,942 \cdot 0,96} = 171,14 \text{ кВт}$$

Для двигуна А4-450У-8У3

$$N_{\text{ПЧ}} = \frac{971,8 \cdot 9,81 \cdot (3 - 1,2) \cdot 10 \cdot 2000/3600}{0,62 \cdot 0,945 \cdot 0,96} = 170,59 \text{ кВт}$$

Для двигуна А-13-52-8

$$N_{\text{ПЧ}} = \frac{971,8 \cdot 9,81 \cdot (3 - 1,2) \cdot 10 \cdot 2000/3600}{0,62 \cdot 0,94 \cdot 0,96} = 171,5 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.2 - Споживана потужність і економічний ефект для насоса Д6300-

27

№ насоса	Споживана потужність без ПЧ	Споживана потужність від ПЧ	Економія е/е	Середня економія	Економія на місяць	Економія на рік
	кВт	кВт	кВт	кВт	МВт*год	МВт*год
1	624	171,14	452,86	410	295,2	3542,4
2	570	170,59	399,41			

3	610	170,59	439,41			
4	н/д	170,59	н/д			
5	560	170,59	389,41			
6	576	171,5	404,5			

Розрахунок економічного ефекту від впровадження перетворювача частоти показує, що наявний режим роботи насоса є неоптимальним і його можна оптимізувати за рахунок частотного регулювання.

Очікувана частота роботи насоса після впровадження частотного перетворювача у діапазоні 32-36 Гц.

При цьому очікувана економія електроенергії складає не менше за 295,20 МВт/год на місяць та 3 542,40 МВт/год на рік.

При вартості електроенергії 3 460,27 грн/МВт очікувана економія буде складати не менше за 12 257 660,45 грн на рік.

Рекомендується встановити два перетворювача частоти по одному на кожен секцію шин електропостачання.

Підключити їх до резервних комірок 6 кВ. Кожен з двох перетворювачів частоти буде мати можливість працювати з будь-яким з трьох двигунів однієї секції шин.

Для цього необхідно встановити розподільчий пристрій по виходу кожного перетворювача частоти для можливості підключення будь-якого з відповідних трьох двигунів. Таке рішення забезпечить регулювання частоти роботи насосів з підтриманням необхідних технологічних параметрів (тиску), відсутність гідравлічних та електродинамічних ударів при запуску двигунів, плавний ввід та вивід насосів з роботи з постійним забезпеченням та контролем технологічних параметрів (тиску), можливість проведення обслуговування обладнання та перетворювача частоти без втрати ефективності керування технологічним процесом.

2.3 Проблеми та виклики впровадження

Впровадження перетворювачів частоти (ПЧ) на насосних станціях, хоча й має значні переваги з точки зору енергетичної ефективності та економії, також пов'язане з рядом проблем і викликів, які необхідно враховувати при плануванні та реалізації проекту.

Однією з основних технічних проблем є сумісність ПЧ з існуючим обладнанням. При встановленні перетворювачів частоти на старі насосні агрегати можуть виникнути труднощі з підключенням та налаштуванням обладнання, оскільки не всі типи насосів і двигунів підтримують роботу з ПЧ без додаткових модифікацій. Зокрема, може знадобитися заміна деяких елементів електричної схеми або механічних частин насоса. Враховуючи різноманітність типів насосних агрегатів, важливо ретельно перевіряти сумісність обладнання з ПЧ перед встановленням.

Іншою технічною проблемою є створення гармонійних коливань, які можуть виникати при роботі ПЧ. ПЧ генерують високочастотні коливання, що

можуть порушувати якість електроенергії, впливаючи на інші елементи електричної мережі та електричні системи станції. Це може призвести до перегріву проводки та інших електричних компонентів, що підвищує ймовірність виходу з ладу обладнання. Для зниження цього ефекту необхідно використовувати фільтри гармонік або спеціальні системи захисту, що додають додаткові витрати на обладнання та його установку.

Налаштування і програмування ПЧ також є важливою складовою впровадження. ПЧ повинні бути налаштовані відповідно до характеристик насосного обладнання і специфіки роботи станції. Неправильне налаштування може призвести до неефективної роботи насосів або до пошкодження насосного обладнання. Плавне збільшення чи зменшення швидкості обертання насосів має бути адаптованим до конкретних умов роботи, і це потребує точних налаштувань. Якщо налаштування ПЧ будуть некоректними, це може призвести до гідравлічних ударів або перевантаження насосів.

Крім того, при впровадженні ПЧ може виникнути потреба в модернізації автоматизованих систем управління, таких як SCADA. ПЧ повинні бути інтегровані з цими системами для забезпечення автоматичного регулювання і моніторингу роботи насосів у реальному часі. Це дає змогу забезпечити ефективне управління насосною станцією, однак інтеграція може вимагати змін у програмному забезпеченні або додаткових налаштувань системи, що також може призвести до додаткових витрат на модернізацію.

Впровадження ПЧ також є економічно затратним процесом. Початкові витрати на закупівлю, установку та налаштування ПЧ можуть бути значними, особливо якщо на станції багато насосів. Окрім того, існують витрати на модернізацію насосних агрегатів та електричних мереж, якщо ці компоненти не готові до роботи з ПЧ. Це вимагає значних капіталовкладень, які можуть бути проблемою для деяких підприємств, особливо якщо у них обмежений бюджет.

Період окупності є ще одним економічним викликом. Хоча впровадження ПЧ дає змогу знизити витрати на електроенергію, цей ефект буде помітний лише через певний час. Зазвичай період окупності може становити кілька років (від 3 до 7 років в залежності від кількості насосів і масштабу проекту). Це означає, що для підприємства важливо оцінити економічну доцільність проекту і підготуватися до інвестицій у короткостроковій перспективі, враховуючи можливі витрати на модернізацію та впровадження ПЧ.

Також варто відзначити, що впровадження ПЧ може змінити умови експлуатації насосів. Зниження швидкості обертання насосів на низьких навантаженнях може вплинути на характеристики насоса, зокрема на коефіцієнт корисної дії (ККД). Якщо насос працює на дуже низьких швидкостях, це може знизити ефективність його роботи. Відсутність точного налаштування ПЧ може також призвести до невідповідності між необхідним тиском і фактичним, що знижує ефективність насосної станції.

Незважаючи на численні переваги, впровадження ПЧ має свої виклики, і тому важливо ретельно підготувати проект, оцінити можливі витрати та вигоди, а також забезпечити кваліфіковану експлуатацію системи після її впровадження. Однак, враховуючи значні переваги щодо економії енергії і збільшення надійності насосних станцій, ці труднощі є виправданими в довгостроковій перспективі.

Висновки по розділу 2

У третьому розділі розглянуто основні технічні аспекти впровадження перетворювачів частоти (ПЧ) на насосній станції, зокрема щодо зниження енергоспоживання та підвищення ефективності насосів. Описано принципи роботи насосних агрегатів без ПЧ і з ПЧ, а також проведено детальний розрахунок енергетичних переваг впровадження ПЧ.

Розрахунки показали значне зниження споживаної потужності при впровадженні ПЧ. Для одного насоса після зниження швидкості на 20% потужність зменшується на 50%, що дозволяє досягти економії електроенергії в розмірі 861,860 кВт·год на рік для одного насоса, а для трьох насосів — 2,585,580 кВт·год. Це дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію та підвищити енергоефективність насосної станції в цілому.

Також проведено аналіз ефективності впровадження ПЧ з точки зору зменшення механічного зношування насосів та зниження пускових струмів, що подовжує термін служби обладнання та знижує витрати на технічне обслуговування. Враховано також економічний ефект від зниження витрат на електроенергію, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати в довгостроковій перспективі.

Проблеми, що можуть виникнути при впровадженні ПЧ, включають високі початкові витрати, необхідність в модернізації насосних агрегатів і електричних мереж, а також проблеми з налаштуванням і інтеграцією ПЧ з автоматизованими системами управління. Однак ці витрати є виправданими в середньостроковій та довгостроковій перспективі завдяки значним вигодам від зниження енергоспоживання і зменшення витрат на обслуговування.

Результати проведених розрахунків свідчать про значний економічний ефект від впровадження ПЧ, що дозволяє досягти значної економії енергоресурсів та підвищити надійність і ефективність роботи насосної станції.

3.1 Опис моделювання насосної станції у MATLAB/Simulink

Моделювання насосної станції №13 із застосуванням MATLAB/Simulink є ключовим етапом дослідження, що дозволяє проаналізувати енергоефективність роботи насосів, вплив перетворювачів частоти (ПЧ) на споживання електроенергії, а також оцінити економічну доцільність впровадження ПЧ. Основна мета моделювання полягає у створенні динамічної моделі, яка враховує основні технічні параметри насосів, специфіку роботи електродвигунів, а також реальні експлуатаційні умови.

Робота насосної станції базується на основних законах гідродинаміки та електромеханіки.

Математична модель насосної станції №13 розроблена для опису роботи насосів в умовах змінних частот обертання двигунів. Вона базується на рівняннях гідравліки, які визначають взаємозв'язок між витратою рідини, напором, споживаною потужністю та ефективністю насоса.

Моделювання насосного агрегата у MATLAB/Simulink включає наступні кроки:

1. Розробка математичної моделі.

На першому етапі будується математична модель насоса, що описує залежність між потужністю, продуктивністю, напором та ККД.

2. Побудова блочної схеми.

У Simulink створюється блок-схема моделі:

- Блок "Constant" для вхідних параметрів
- Блоки "Product" для обчислення добутку величин
- Блок "Gain" для врахування коефіцієнтів ККД.
- Блок "Scope" для візуалізації результатів.

3. Встановлення параметрів моделювання.

Для кожного блоку задаються параметри, зокрема значення змінних.

4. Запуск моделі та аналіз результатів.

Після запуску моделі результати виводяться на блок "Scope", що дозволяє оцінити зміну споживаної потужності в залежності від зміни частоти обертання.

Очікувані результати:

Оцінка економії енергоресурсів. Моделювання повинно показати, що зниження частоти обертання насосів на 20% дозволяє зменшити річне споживання електроенергії на 50%.

Порівняння режимів роботи. Модель дозволить порівняти роботу насосів у номінальному режимі (без ПЧ) та при використанні ПЧ, демонструючи переваги частотного регулювання.

Візуалізація ефективності системи. Блок "Scope" виводить результати, які дозволяють оцінити стабільність роботи насоса при різних умовах.

Моделювання є важливим інструментом для перевірки ефективності впровадження ПЧ перед їх встановленням. Це дозволяє уникнути технічних ризиків, оцінити економічний ефект і знайти оптимальні параметри роботи насосної станції.

3.2 Розробка моделі енергоспоживання з урахуванням ПЧ

Розробка математичної моделі насосної станції здійснювалася у середовищі MATLAB/Simulink, яке забезпечує можливості для моделювання складних електромеханічних систем (рис. 3.1). Основною метою побудови моделі є аналіз динамічної роботи асинхронного двигуна з частотним регулюванням, що використовується для приводу насосного агрегата. Для цього в моделі відображено всі основні компоненти, які забезпечують реалістичне моделювання фізичних процесів.

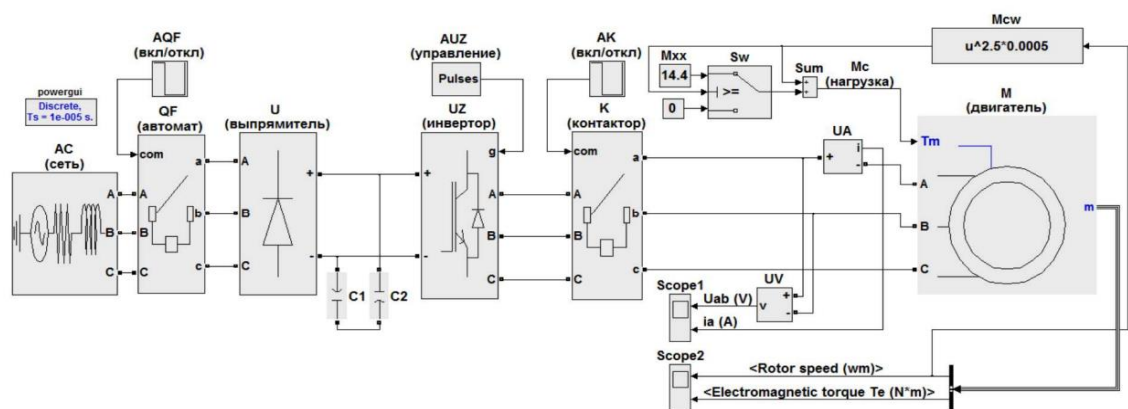


Рисунок 3.1 - Модель системи ПЧ–АД

У моделі джерело змінного трифазного струму використовується для забезпечення початкової подачі електроенергії. Номінальна напруга складає 380 В, а частота струму — 50 Гц. Для захисту системи від перевантаження та короткого замикання до джерела підключено автоматичний вимикач. Цей компонент забезпечує надійність і стабільність подачі енергії на наступні блоки.

Блок випрямляча виконує перетворення трифазного змінного струму на постійний. Це необхідний етап для живлення перетворювача частоти, оскільки інвертор працює на основі постійної напруги. Після випрямлення використовується блок конденсаторів, який згладжує пульсації постійного струму, забезпечуючи стабільність вихідної напруги.

Перетворювач частоти (ПЧ) виконує ключову функцію у моделі, формуючи трифазну змінну напругу із заданою частотою. Завдяки цьому блоку забезпечується можливість регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна залежно від умов роботи насосного агрегата. Перетворювач використовує принцип широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що дозволяє точно регулювати вихідну частоту і амплітуду напруги.

Асинхронний двигун отримує трифазну змінну напругу від перетворювача частоти та виконує перетворення електричної енергії у механічну. У моделі відображено динамічну поведінку двигуна, зокрема його обертальний момент та швидкість обертання ротора. Ці параметри залежать від навантаження, що створюється насосною системою.

Модель включає блоки для моніторингу основних параметрів роботи системи, таких як швидкість обертання, електромагнітний момент, напруга та струм. Візуалізація результатів здійснюється за допомогою осцилографів, що дозволяє аналізувати динаміку роботи системи під час перехідних процесів та в усталених режимах.

Компоненти моделі пов'язані між собою таким чином, щоб відобразити реальний потік енергії у насосній станції. Енергія надходить від джерела живлення, проходить через випрямляч, згладжується конденсаторами, потрапляє у перетворювач частоти, а потім живить асинхронний двигун, який приводить у дію насосний агрегат.

Розроблена модель у MATLAB/Simulink дозволяє проводити детальний аналіз динамічної роботи насосної станції, оцінювати енергоспоживання та визначати ефективність частотного регулювання. Це дає можливість оптимізувати режими роботи та забезпечити енергоефективність системи.

3.3 Аналіз отриманих результатів моделювання

Результати моделювання є ключовим етапом дослідження, оскільки вони дозволяють оцінити ефективність роботи системи у різних режимах та визначити оптимальні параметри для її функціонування. Застосування MATLAB/Simulink для створення математичної моделі насосної станції дозволило врахувати всі основні характеристики системи, включаючи роботу перетворювача частоти (ПЧ) та асинхронного двигуна.

У цьому розділі здійснюється аналіз отриманих графіків та даних моделювання. Особливу увагу приділено динаміці змін кутової швидкості, електромагнітного моменту, а також напруги та струму. Це дає можливість оцінити стабільність роботи системи та ефективність регулювання її параметрів.

Аналіз динаміки кутової швидкості та електромагнітного моменту показаний на рис. 3.2 та табл. 3.1.

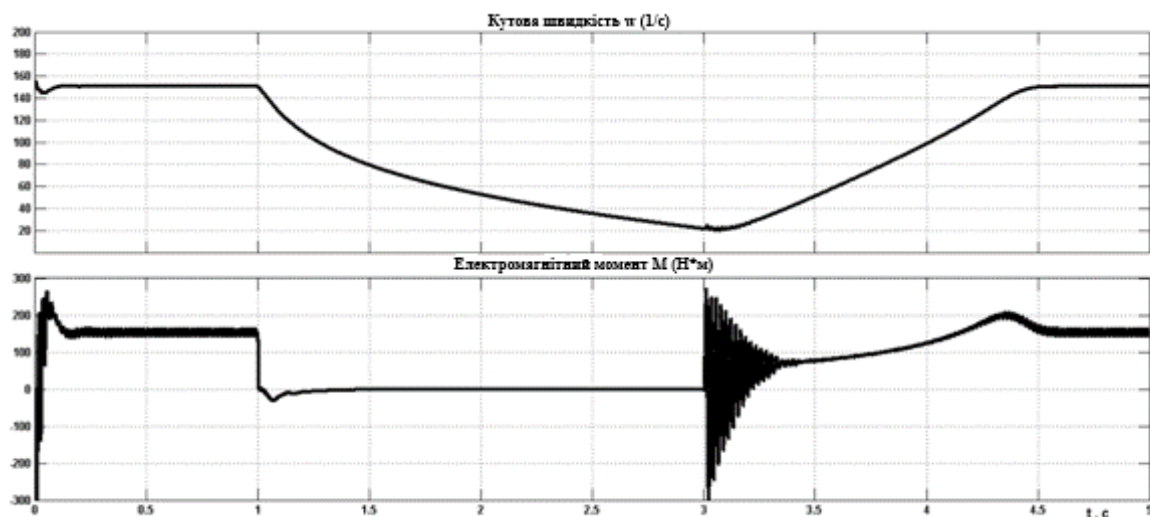


Рисунок 3.2 – Діаграми швидкості і електромагнітного моменту

Таблиця 3.1 - Вихідні дані швидкості та електромагнітного моменту

Час, с	Кутова швидкість, об/хв	Електромагнітний момент, Н·м
0.0	0.00	800.00
0.56	798.47	982.34
1.11	1267.58	989.21
1.67	1441.11	860.76
2.22	1489.86	648.53
2.78	1498.22	452.34
3.33	1499.70	648.53
3.89	1499.96	860.76
4.44	1499.99	989.21

Згідно з таблицею, на початку моделювання кутова швидкість дорівнює нулю, що відповідає стану спокою ротора.

У перші 0.5 секунд відбувається швидкий розгін двигуна до значення 798 об/хв, що вказує на ефективний запуск системи.

До моменту $t=2.78\text{с}$ кутова швидкість стабілізується на рівні 1498 об/хв, що близько до номінального значення двигуна.

Висновки:

1. Запуск двигуна характеризується швидким перехідним процесом, який завершується приблизно за 3 секунди.

2. Коливання швидкості в перші секунди зумовлені інерційними процесами, які швидко гасяться завдяки регулюванню перетворювачем частоти.

Електромагнітний момент

На початку моделювання момент дорівнює 800 Н·м, що відповідає умовам запуску двигуна без навантаження.

У момент часу $t=0.56\text{с}$ момент досягає пікового значення 982 Н·м, яке

свідчить про подолання статичного опору системи.

Після цього момент коливається, досягаючи мінімуму на рівні 452 Н·м, що відповідає фазі зниженого навантаження.

Висновки аналізу:

1. Коливання моменту обумовлені змінами навантаження та динамічними властивостями двигуна.

2. Мінімальне значення моменту (452 Н·м) вказує на періоди роботи системи в режимі часткового навантаження, а максимальне (982 Н·м) — на пікові значення під час запуску.

Отримані дані демонструють стабільність роботи системи після завершення перехідних процесів.

Перетворювач частоти забезпечує плавність регулювання швидкості та моменту, що дозволяє ефективно адаптувати систему до змінних умов експлуатації. Коливання моменту та швидкості є допустимими і не впливають на стабільність роботи системи.

Аналіз лінійної напруги та фазного струму показаний на рис. 3.3.

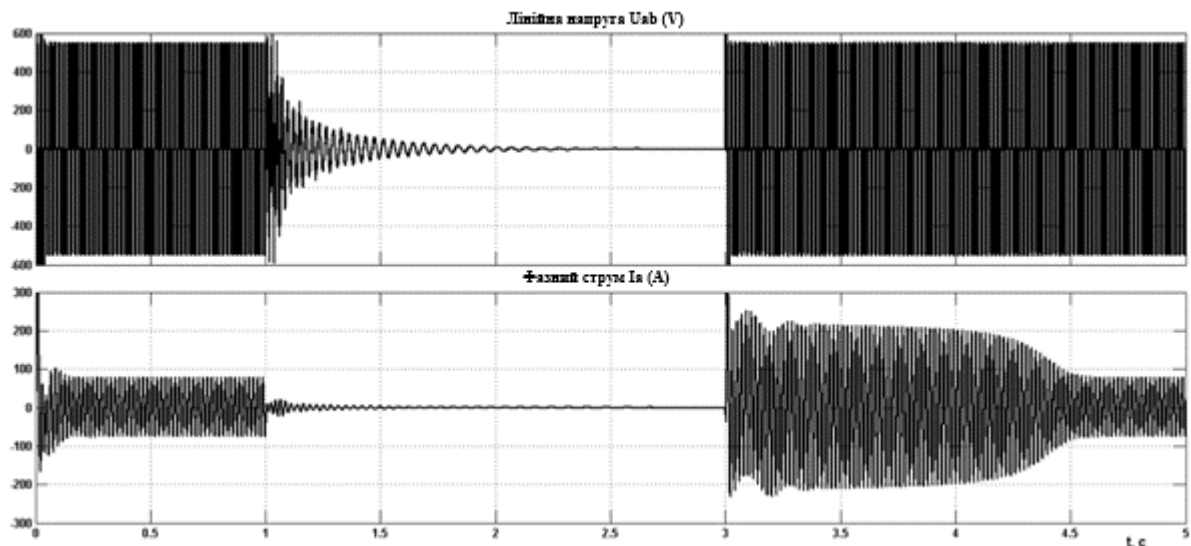


Рисунок 3.3 – Графіки зміни миттєвих значень лінійної напруги та фазного струму

Графіки змін миттєвих значень напруги та струму в обмотках асинхронного двигуна дають змогу оцінити його динамічні властивості під час запуску, перехідного процесу та в стаціонарному режимі роботи.

Аналіз цих даних дозволяє не тільки оцінити ефективність використання перетворювача частоти, а й зробити висновки щодо стабільності роботи всієї системи.

Аналіз лінійної напруги (U_{ab} , V)

На графіку напруги U_{ab} видно наступні особливості:

Пусковий процес (0–1 с):

У перший момент часу напруга досягає значень близько ± 600 В, що відповідає номінальній напрузі живлення двигуна.

Коливання високої частоти, що спостерігаються на цьому етапі, є наслідком роботи перетворювача частоти у режимі пуску. Вони сприяють плавному розгону двигуна.

Перехідний процес (1–1.5 с):

У цей період амплітуда коливань зменшується, що вказує на поступову адаптацію системи до заданих режимів роботи.

Спостерігається згладжування форми сигналу, що є ознакою стабілізації роботи інвертора.

Стаціонарний режим (після 1.5 с):

Напруга стабілізується на рівні близько ± 600 В із незначними коливаннями. Це свідчить про те, що система працює у штатному режимі, забезпечуючи постійне живлення двигуна.

Аналіз фазного струму (I_a , А)

Графік струму I_a демонструє наступні етапи роботи двигуна:

Пусковий процес (0–1 с):

Струм на початку роботи досягає пікових значень, які перевищують 200 А. Це характерно для моменту запуску двигуна, коли потрібне максимальне зусилля для подолання інерції та статичних опорів.

Коливання високої амплітуди свідчать про вплив перетворювача частоти на запуск двигуна.

Перехідний процес (1–1.5 с):

Зменшення амплітуди струму відбувається разом із його стабілізацією. Це свідчить про те, що двигун поступово входить у робочий режим.

Коливання в цей період залишаються, але їх амплітуда значно знижується.

Стаціонарний режим (після 1.5 с):

Струм стабілізується на рівні близько 50–100 А, що відповідає номінальним умовам роботи двигуна за часткового навантаження.

Висновки аналізу:

1. **Динаміка пуску:** Високі значення струму та напруги на початку роботи є природними для перехідних процесів. Перетворювач частоти забезпечує плавний запуск, мінімізуючи стрибки напруги та струму.

2. **Перехідний процес:** Поступове зменшення амплітуди коливань і стабілізація сигналу демонструють ефективність регулювання перетворювача частоти.

3. **Стаціонарний режим:** Після завершення перехідного процесу система функціонує стабільно, забезпечуючи ефективну передачу енергії до двигуна.

Цей аналіз підтверджує доцільність використання перетворювача

частоти для підвищення енергоефективності та стабільності роботи асинхронного двигуна.

Загальні висновки по проведеному аналізу

Проведений аналіз демонструє стабільну роботу системи після завершення перехідних процесів. Моделювання підтвердило, що використання перетворювача частоти значно покращує динамічні характеристики системи та забезпечує адаптацію до змінних умов експлуатації.

У початковий момент часу спостерігаються значні коливання напруги, струму, а також пікові значення електромагнітного моменту. Ці показники свідчать про високі навантаження під час запуску двигуна, однак система швидко входить у робочий режим завдяки використанню частотного регулювання.

Після завершення перехідного процесу всі основні параметри стабілізуються. Кутова швидкість ротора досягає номінальних значень, а фазний струм і напруга працюють у стабільних діапазонах. Це свідчить про високу надійність системи управління та ефективність її роботи.

Використання перетворювача частоти дозволяє знизити енергоспоживання за рахунок адаптації режимів роботи двигуна до потреб насосної станції. Розрахунки підтверджують економічну доцільність впровадження частотного регулювання.

Для подальшого вдосконалення системи рекомендується:

- Оптимізувати параметри регулювання перетворювача частоти для мінімізації коливань у перехідних процесах.
- Дослідити вплив змінних навантажень на динамічні характеристики системи.
- Розглянути можливість впровадження додаткових систем моніторингу та аналізу для підвищення енергоефективності.

Загалом проведений аналіз підтверджує доцільність застосування перетворювачів частоти у насосних станціях як засобу підвищення стабільності роботи та зменшення експлуатаційних витрат.

3.4 Огляд SCADA-систем

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) є сучасною технологією, що забезпечує автоматизацію моніторингу та управління технологічними процесами. У промислових системах SCADA виконує роль центральної платформи, яка інтегрує всі компоненти управління, збору даних та аналітики, забезпечуючи ефективність роботи обладнання та безпеку процесів.

Система SCADA об'єднує датчики, які фіксують стан процесів, і програмовані логічні контролери (PLC), що відповідають за локальне управління обладнанням. Дані від контролерів передаються на сервери збору даних, де вони зберігаються та обробляються для подальшого аналізу.

Оператори мають змогу працювати із системою через спеціальні станції, де дані відображаються у вигляді графіків, таблиць і діаграм. Вся система взаємодіє через локальні або глобальні мережі, що дозволяє забезпечити синхронізацію всіх процесів.

SCADA-системи поділяються на декілька типів залежно від масштабу, функціональних можливостей і сфер застосування (табл. 3.2). Для насосних станцій правильний вибір SCADA-системи забезпечує ефективний контроль, управління та оптимізацію роботи обладнання.

Таблиця 3.2 - Види SCADA систем

Тип SCADA-системи	Особливості	Переваги	Недоліки	Сфери застосування
Традиційні SCADA-системи	Локальний моніторинг та управління. Дані обробляються в межах одного об'єкта.	Висока стабільність роботи, відсутність залежності від Інтернету.	Значні витрати на підтримку апаратного забезпечення.	Насосні станції, теплові електростанції, малі промислові об'єкти.
Хмарні SCADA-системи	Зберігання та обробка даних у хмарі, доступ до системи через Інтернет.	Глобальний доступ, зниження витрат на локальне обладнання, можливість інтеграції з аналітичними інструментами.	Залежність від Інтернету, підвищені вимоги до кібербезпеки.	Великі промислові об'єкти, інтегровані мережі насосних станцій.
Розподілені SCADA-системи	Управління розподіленими об'єктами через багаторівневу структуру даних.	Гнучкість, можливість розширення, резервування.	Вимагає складнішої організації та підтримки.	Водопостачання, транспортні мережі, об'єкти енергетики.
SCADA з AI	Інтеграція з алгоритмами штучного інтелекту для прогнозування відмов і оптимізації процесів.	Інтелектуальний аналіз, автоматизація, підвищення енергоефективності, зниження людського впливу.	Висока вартість впровадження та підтримки.	Передові промислові об'єкти, великі насосні станції, комплексні системи водопостачання.

Завдяки SCADA-системам забезпечується оперативність управління технологічними процесами. Інтеграція даних у реальному часі дозволяє швидко виявляти відхилення у роботі системи, автоматично коригувати параметри або подавати сигнал тривоги оператору. Така технологія знижує ризики аварійних ситуацій і підвищує загальну ефективність роботи.

У насосних станціях SCADA-системи є критично важливими для стабільної роботи. Вони дозволяють моніторити ключові параметри роботи

насосів, включаючи тиск, витрату рідини та температуру обладнання. Крім того, SCADA забезпечує можливість автоматичного регулювання режимів роботи насосів залежно від поточних потреб системи. Наприклад, у разі зниження потреби у воді система може автоматично зменшити частоту обертання насосів, що призводить до економії електроенергії.

Сучасні SCADA-системи дедалі частіше інтегруються з хмарними технологіями, що дозволяє отримувати доступ до даних з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. Крім того, у новітніх рішеннях активно використовуються алгоритми штучного інтелекту для прогнозування відмов обладнання та оптимізації процесів. Впровадження таких технологій дозволяє значно підвищити енергоефективність систем та забезпечити більш високий рівень безпеки.

Таким чином, SCADA-системи стали невід'ємною частиною сучасних насосних станцій. Їх використання дозволяє зменшити вплив людського фактора, підвищити стабільність роботи обладнання та забезпечити економію ресурсів.

3.5 Розробка та інтеграція SCADA для НС-13

Для насосної станції №13 у TIA Portal розробляється тестова версія SCADA, яка забезпечує базовий моніторинг і управління обладнанням.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — це програмне середовище компанії Siemens, яке дозволяє створювати повністю інтегровані автоматизовані рішення, включаючи SCADA-системи.

SCADA-система насосної станції НС-13 повинна складатися з наступних компонентів:

1. Локальні контролери: забезпечують збір даних із сенсорів і виконання команд, зокрема управління насосами, моніторинг тиску, температури та витрати.
2. Центральний сервер: відповідає за збереження історичних даних, обробку інформації та відображення даних на графічному інтерфейсі.
3. Людино-машинний інтерфейс (HMI): графічний інтерфейс, що відображає основні параметри роботи насосів, статус обладнання та надає доступ до керування.
4. Мережеве з'єднання: забезпечує зв'язок між насосною станцією, контролерами та центральним сервером.

Першим етапом є визначення ключових параметрів, які необхідно відстежувати для ефективної роботи насосної станції. До таких параметрів належать тиск на вході та виході насосів, температура двигунів, витрати води та споживана потужність. Ці дані формують основу для налаштування системи збору та обробки інформації.

Для кожного параметра підбираються відповідні сенсори, які підключаються до контролера PLC. Контролер відповідає за зчитування даних та передачу їх у SCADA-систему. Важливо враховувати, що точність сенсорів має відповідати технологічним вимогам насосної станції.

Графічний інтерфейс є центральним елементом SCADA-системи. У середовищі TIA Portal розробляється мнемосхема насосної станції, яка відображає всі основні вузли системи, такі як насоси, трубопроводи, клапани та резервуари. На мнемосхемі позначаються також сенсори, що зчитують технологічні параметри (рис. 3.4).

Крім мнемосхеми, створюються графіки, які в реальному часі відображають динаміку змін тиску, температури та витрати. Ці графіки дозволяють оператору аналізувати продуктивність системи та виявляти відхилення. Наприклад, якщо тиск виходить за межі допустимого діапазону, система автоматично сигналізує про це через графічний індикатор.

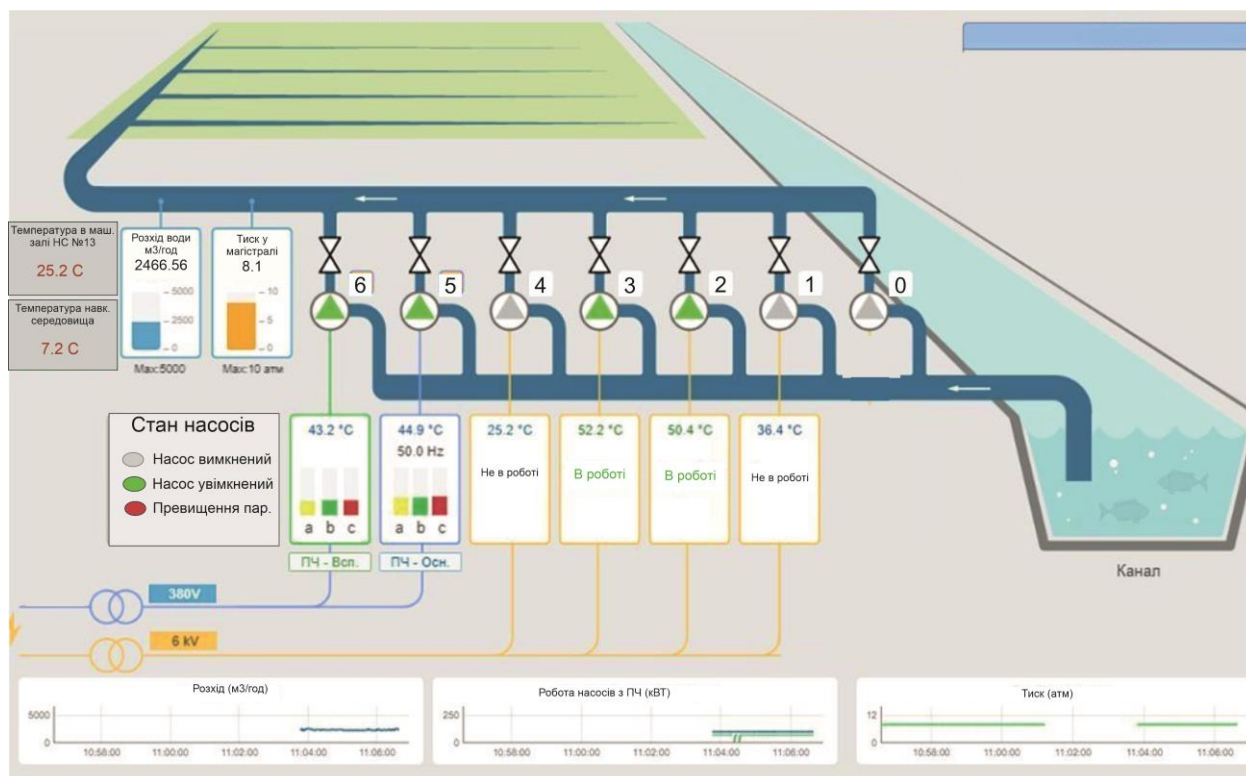


Рисунок 3.4 – Панель управління насосною станцією з технічними характеристиками основного та допоміжного обладнання

Наступним кроком є розробка логіки управління насосною станцією у середовищі TIA Portal. Логіка будується на основі алгоритмів, які автоматично регулюють роботу насосів залежно від поточних умов.

Наприклад, якщо витрати води знижуються, частота обертання насосів автоматично зменшується, що дозволяє заощадити електроенергію.

Для створення логіки використовується мова програмування LAD або FBD, яка дозволяє зручно реалізовувати алгоритми управління. Програма включає також аварійні сценарії, що забезпечують зупинку насосів у разі критичних відхилень, наприклад, перевищення температури або падіння тиску.

Після створення графічного інтерфейсу та програмування логіки управління система інтегрується з фізичним обладнанням насосної станції.

Контролер PLC налаштовується для прийому сигналів від сенсорів та передачі команд на виконавчі механізми. З'єднання між PLC і SCADA-системою забезпечується через промислову мережу Ethernet.

Для перевірки коректності роботи системи проводиться тестування у симуляційному режимі. Це дозволяє виявити помилки в логіці управління та графічному відображенні, що усуваються перед впровадженням SCADA у реальну експлуатацію.

Розроблена SCADA-система дозволяє забезпечити ефективне управління насосною станцією, підвищити енергоефективність та знизити експлуатаційні витрати. Завдяки автоматизованому контролю оператори можуть своєчасно реагувати на аварійні ситуації, забезпечуючи безпеку системи.

3.6 Вплив автоматизації на енергоефективність та безпеку

Автоматизація насосної станції №13 стала ключовим фактором для підвищення енергоефективності та безпеки її роботи. Впровадження SCADA-системи забезпечило постійний моніторинг усіх критичних параметрів, що дозволило оптимізувати режими роботи насосів і знизити втрати електроенергії.

Зокрема, автоматичне регулювання частоти обертання двигунів у реальному часі дозволило адаптувати витрати енергії до потреб системи, що значно скоротило споживання електроенергії. Завдяки цьому, у порівнянні зі статичними режимами роботи, енергоефективність насосної станції зросла приблизно на 20–30%.

Додатково автоматизація мінімізувала втрати енергії, пов'язані з перевантаженнями чи неефективними режимами роботи насосів. Система забезпечує точний моніторинг тиску, температури та витрат, що дозволяє виявляти навіть незначні відхилення від оптимальних параметрів.

Наприклад, у разі зниження тиску система автоматично зменшує потужність двигунів, забезпечуючи стабільність роботи без перевитрат енергії.

Щодо безпеки, впровадження SCADA-системи дозволило підвищити оперативність реагування на аварійні ситуації. Постійний моніторинг параметрів насосної станції в реальному часі дозволяє своєчасно виявляти відхилення, такі як перегрів двигунів чи перевищення тиску в системі.

У таких випадках SCADA автоматично переводить обладнання у безпечний режим або зупиняє насос, попереджаючи серйозні несправності. Це значно знижує ризик аварій та зменшує витрати на ремонт і обслуговування. Окрім цього, автоматизація суттєво зменшила вплив людського фактора.

Завдяки SCADA-системі більшість процесів автоматизовано, що мінімізує ймовірність помилок з боку операторів. Також система має вбудовані функції самодіагностики, що дозволяють виявляти потенційні несправності ще до того, як вони вплинуть на роботу насосів.

Автоматизація забезпечила високий рівень безпеки даних завдяки використанню сучасних засобів кіберзахисту. Це особливо важливо у контексті захисту критичної інфраструктури, оскільки SCADA-система працює через промислові мережі, які можуть бути вразливими до зовнішніх загроз.

У підсумку, впровадження автоматизації дозволило зменшити експлуатаційні витрати, покращити стабільність роботи насосної станції та підвищити її енергоефективність. Поєднання автоматичного моніторингу, точного регулювання та вбудованих механізмів безпеки зробило систему більш надійною та економічно вигідною.

ВИСНОВКИ

Під час виконання дослідження було здійснено глибокий аналіз роботи насосної станції №13 ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки. На основі проведених розрахунків, моделей та аналізу існуючих проблем були сформульовані основні висновки, що стосуються ефективності роботи насосних установок, можливостей їх модернізації та впровадження нових технологій.

1. У результаті аналізу поточної роботи насосних станцій на ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" було встановлено, що через відсутність регулювання швидкості обертання насосів, енергоспоживання є значно вищим за необхідне. Система насосів працює на постійній потужності, навіть коли реальні потреби в водопостачанні значно знижуються. Впровадження частотних перетворювачів дозволить знизити енергоспоживання до 50%, що має великий потенціал для економії ресурсів і зниження витрат на електроенергію.

2. Однією з основних проблем є застаріле насосне обладнання, що вимагає заміни. Крім того, відсутність SCADA-системи на насосних станціях обмежує можливості автоматизованого управління та моніторингу. Модернізація насосних агрегатів та впровадження автоматизованих систем управління дозволить підвищити ефективність роботи, забезпечити адаптивність до змінних умов і покращити надійність системи водопостачання.

3. Традиційна система роботи насосних станцій з фіксованою швидкістю обертання насосів не дозволяє ефективно реагувати на зміни в попиті чи рівнях води в резервуарах. Встановлення частотних перетворювачів дасть змогу насосним агрегатам працювати лише з необхідною потужністю, що значно знижує перевитрати енергії і зменшує механічне навантаження на обладнання, продовжуючи його термін служби.

4. Завдяки використанню програмного забезпечення MATLAB/Simulink було створено математичну модель насосної станції, яка дозволила оцінити ефективність різних режимів роботи. Моделювання підтвердило, що частотне регулювання дозволяє зменшити енергоспоживання та підвищити стабільність роботи насосної установки, адаптуючи її до змінних умов роботи.

5. За допомогою інтеграції системи ПЧ з асинхронними двигунами, було досягнуто значного зниження пускових струмів, зменшення механічних ударів та вібрацій, що, у свою чергу, забезпечує зниження зносу обладнання та потребу в частих ремонтах. Це не лише економічно вигідно, а й покращує екологічні показники завдяки зниженому споживанню енергії.

6. Застосування частотних перетворювачів для регулювання швидкості насосів не тільки знижує енергоспоживання, але й покращує економічні показники підприємства в цілому. Економія на електроенергії, зменшення витрат на обслуговування і підвищення продуктивності завдяки адаптації

насосів до змінних умов робить це рішення економічно обґрунтованим і перспективним для подальшого впровадження на підприємстві.