

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Розробка системи енергетичного водопостачання станції
водозабезпечення»

КРБ.14ЕЕбд_31[3].02.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
спеціальності 141
*«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи *141ЕЕбд_31[3]*
БУБЛИК Ростислав

Керівник: канд. фіз.-мат. наук, доцент
СЕМЕНОВ Анатолій

Полтава – 2025 року

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	10
1.1 Актуальність та шляхи модернізації систем енергетичного водопостачання	10
1.2 Основні підходи до модернізації системи енергетичного водопостачання	11
Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РЕЖИМИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ПАТ «СУМСЬКЕ НВО»	14
2.1 Об'єкт дослідження	14
2.2 Аналіз фактичного енергетичного стану насосної станції	17
Висновки до розділу 2	22
РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ НА ОСНОВІ СТУПЕНЕВОГО РЕГУЛЮВАННЯ	23
3.1 Аналіз ефективності застосування ступеневого регулювання в насосній станції	23
Висновки до розділу 3	31
РОЗДІЛ 4 МОДЕРНІЗАЦІЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ	32
4.1 Модернізація насосної станції із застосуванням частотного регулювання	32

4.2 Комбіноване регулювання насосної станції шляхом зміни кількості агрегатів і частотного керування	35
Висновки до розділу 4	39
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ	40
5.1 Заходи з охорони праці при експлуатації насосної станції	40
5.2 Екологічна експертиза проектного рішення	42
5.3 Економічна ефективність проєкту станції водозабезпечення	44
Висновки до розділу 5	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	50

ВСТУП

Україна належить до числа енергодефіцитних країн, тому підвищення енергоефективності є пріоритетним напрямом державної енергетичної стратегії. У цьому контексті особливу увагу привертають системи водопостачання, які є одними з найбільш енергоємних складових комунального господарства та промислових підприємств. Забезпечення надійної, економічно обґрунтованої та безперебійної подачі води потребує впровадження сучасних технічних рішень у сфері енергетичного забезпечення водозабірних станцій.

Система водопостачання представляє собою сукупність інженерних споруд та обладнання, що забезпечують забір води з природного джерела, її підняття, транспортування, очищення, накопичення та розподіл серед споживачів. Основною метою функціонування таких систем є стабільне водопостачання заданої якості, необхідного об'єму і напору при мінімальних витратах ресурсів, зокрема енергетичних.

Енергетичний аудит у водопостачанні дозволяє комплексно оцінити ефективність використання електроенергії, виявити втрати та надлишкові витрати, провести аналіз параметрів роботи насосного обладнання, а також розробити заходи з оптимізації режимів експлуатації. Це особливо важливо з огляду на застарілість інфраструктури: значна частина систем водопостачання в Україні вичерпала свій нормативний ресурс, а втрати води у мережах водозабезпечення досягають 30–50%.

Мета роботи – підвищення енергоефективності, надійності та гнучкості роботи насосної станції шляхом модернізації її електроприводної частини з використанням частотного та комбінованого регулювання режимів роботи, автоматизації управління і впровадження енергоощадних технологій.

Об'єкт розробки – система енергетичного водопостачання компресорного цеху ПАТ «Сумське НВО», зокрема насосна станція другого підйому, яка забезпечує господарсько-побутове, виробниче та протипожежне водопостачання.

Предмет розробки – процеси регулювання режимів роботи насосної станції, енергоспоживання електроприводного обладнання та засоби його

автоматизованого управління, включаючи частотне регулювання електроприводів.

Методика досліджень: аналіз нормативно-технічної документації з енергетичного водопостачання; інструментальні вимірювання фактичного водоспоживання; математичне моделювання енергетичних характеристик насосного обладнання; гідравлічне моделювання водопровідної мережі в середовищі MIKE NET; техніко-економічний аналіз енергоефективності при впровадженні частотного та комбінованого регулювання; екологічна оцінка проектного рішення з урахуванням чинного законодавства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: провести енергетичний аудит насосної станції другого підйому; оцінити рівень енергоспоживання та питому енергоємність існуючого обладнання; провести аналіз ефективності ступеневого регулювання роботи насосної станції з використанням альтернативних типів насосів; змоделювати режим роботи насосної станції з частотним регулюванням електроприводів; розробити комбіновану схему керування насосами та оцінити її енергетичну ефективність; провести розрахунок економічної доцільності запропонованого проектного рішення; оцінити екологічні аспекти модернізації; надати рекомендації щодо впровадження енергоефективних рішень у подібних об'єктах водопостачання.

Практична значимість та реалізація досліджень. Результати дослідження можуть бути впроваджені в промислових підприємствах, що мають аналогічну інфраструктуру водопостачання, з метою зниження енерговитрат, покращення надійності та якості водопостачання. Модернізована насосна станція на базі ПАТ «Сумське НВО» може слугувати типовим прикладом енергоефективного об'єкта, адаптованого до змінних умов водоспоживання з мінімальними експлуатаційними витратами.

РОЗДІЛ 1. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1 Актуальність та шляхи модернізації систем енергетичного водопостачання

Одним із ключових напрямів забезпечення життєдіяльності населення є надання якісної питної води, що закріплено в Законі України «Про питну воду та питне водопостачання» та супровідних нормативно-правових актах. Водночас, реалізація цього завдання ускладнюється застарілим технічним станом багатьох водопровідно-каналізаційних підприємств, високим рівнем зносу обладнання, використанням неефективних технологій, а також значними витратами електроенергії у процесах водопідготовки та транспортування [1].

Відомо, що витрати на електроенергію становлять до 80% у структурі собівартості 1 м³ підготовленої питної води. Такий показник зумовлює необхідність переходу до енергозберігаючих підходів у функціонуванні станцій водозабезпечення. Модернізація систем водопостачання передусім повинна охоплювати зниження енерговитрат і підвищення надійності роботи обладнання [2].

За світовими тенденціями, ефективність енергоспоживання водогосподарських об'єктів досягається шляхом впровадження автоматизованих систем керування, які забезпечують гнучке регулювання роботи насосних агрегатів залежно від споживання води. Особливу увагу також слід приділяти вдосконаленню процесів очищення води, зокрема роботі фільтрувальних установок, серед яких пріоритетними є швидкі фільтри.

Сучасний стан електротехнічних та автоматизованих засобів дозволяє комплексно оновити системи керування водоочисними спорудами. Зокрема, використання мікропроцесорних частотних перетворювачів, інтелектуальних датчиків тиску, рівня та витрати, цифрових електролічильників, регулюючої арматури з високою точністю, а також контролерів із гнучким програмним

забезпеченням дає можливість перейти на якісно новий рівень автоматизації процесів водопостачання.

Одним із найбільш перспективних рішень у цьому напрямі є впровадження частотного регулювання електроприводів. Такий підхід дозволяє значно знизити пускові струми, зменшити зношування обладнання, знизити навантаження на електромережу, оптимізувати споживання енергії та, як наслідок, продовжити термін експлуатації насосного обладнання.

Модернізація систем енергетичного водопостачання на базі енергоефективних технологій не лише сприяє підвищенню надійності та стабільності функціонування станцій водозабезпечення, а й дозволяє досягти суттєвої економії ресурсів при збереженні високої якості послуг для споживачів.

1.2 Основні підходи до модернізації системи енергетичного водопостачання

У сучасних умовах підвищеної вартості енергоресурсів та зростаючих вимог до ефективності роботи інженерних систем питання модернізації систем енергетичного водопостачання є одним із ключових напрямів технічного розвитку водогосподарських об'єктів. Насамперед це стосується насосних станцій, які є одними з найенергоємніших елементів інфраструктури підприємств [3].

Метою модернізації є зниження питомих витрат електроенергії, підвищення надійності роботи обладнання, скорочення експлуатаційних витрат та забезпечення автоматизованого управління в режимі реального часу.

Основні напрями модернізації можна згрупувати за такими підходами [2]:

1. Оптимізація складу насосного обладнання.

Першочерговим завданням є приведення характеристик встановлених насосів у відповідність до фактичних режимів водоспоживання. Заміна надлишково потужних насосів на обладнання з оптимальними параметрами дозволяє зменшити споживання енергії та підвищити загальну ефективність роботи системи.

2. Впровадження частотного регулювання електроприводів.

Використання частотних перетворювачів дає змогу плавно змінювати частоту обертання електродвигунів відповідно до поточних потреб у водопостачанні. Це забезпечує мінімізацію пускових струмів, зменшення навантаження на електромережу, зниження шуму та вібрацій, а також подовження строку служби обладнання.

3. Автоматизація та диспетчеризація системи.

Застосування сучасних систем автоматизованого керування (АСУ ТП) на базі ПЛК та SCADA дозволяє реалізувати гнучке управління насосними агрегатами в залежності від змін навантаження. Інтеграція датчиків тиску, витрати, рівня та якості води з системами керування забезпечує точну діагностику, моніторинг і адаптацію режимів роботи в реальному часі.

4. Використання енергоефективного електрообладнання.

При модернізації слід застосовувати електродвигуни з високими показниками ККД, відповідно до стандартів IE2–IE4. Це дозволяє скоротити споживання електроенергії без зміни основної функціональності системи.

5. Експертне моделювання та обґрунтування технічних рішень.

Застосування програмних пакетів (таких як MIKE NET, WaterCAD тощо) для гідравлічного та енергетичного моделювання дозволяє точніше оцінити ефективність різних сценаріїв модернізації та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

6. Удосконалення елементів інфраструктури.

Доцільною є заміна застарілих трубопроводів, засувок, зворотних клапанів, датчиків та іншого допоміжного обладнання, що не відповідає сучасним вимогам щодо точності, надійності та енергоефективності.

Загалом реалізація зазначених підходів забезпечує не лише економію енергетичних ресурсів, а й підвищує технічний рівень водозабірної комплексу, дозволяючи досягти балансу між енергетичною ефективністю, надійністю водопостачання та безперервністю технологічного процесу.

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу сучасного стану систем енергетичного водопостачання було встановлено, що більшість існуючих об'єктів функціонує із застарілим обладнанням, високими витратами електроенергії та низьким рівнем автоматизації. Це зумовлює необхідність комплексної модернізації, орієнтованої на енергоефективність, надійність та стабільність роботи насосного обладнання.

Ключовими напрямками покращення систем водопостачання є впровадження частотного регулювання електроприводів, автоматизація технологічних процесів, оптимізація складу насосних агрегатів і використання електрообладнання з високим ККД. Застосування сучасних засобів управління дозволяє гнучко реагувати на зміну водоспоживання, підвищити якість послуг та зменшити експлуатаційні витрати.

Таким чином, модернізація систем енергетичного водопостачання на основі новітніх технологій забезпечує досягнення стратегічних цілей енергозбереження, підвищення ефективності функціонування водогосподарських об'єктів і забезпечення сталого розвитку інфраструктури.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ РЕЖИМИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ПАТ «СУМСЬКЕ НВО»

2.1 Об'єкт дослідження

Об'єктом енергетичного дослідження є насосна станція другого підйому водозабірною комплексу ПАТ «Сумське НВО», розташованого у промисловій зоні північно-західної частини м. Суми.

ПАТ «Сумське НВО» включає п'ять основних виробничих ділянок: хімічного, насосного, компресорного, машинобудівного виробництва, а також котельної, розміщеної в межах північного промислового вузла. Водопостачання підприємства здійснюється із кількох джерел — власних артезіанських свердловин, міського водогону та поверхневого джерела (р. Псел).

Система водозабору підприємства не централізована: водозабірні вузли, що включають свердловини, резервуари та насосні станції, розташовані безпосередньо на територіях окремих виробничих майданчиків. Зокрема, на території компресорного виробництва експлуатуються дві свердловини глибиною 550 і 150 метрів. Середній добовий об'єм водовикористання становить близько 100 м³. Видобута вода подається глибинними насосами типу ЕЦВ 8–40–90 до залізобетонного резервуара об'ємом 1000 м³, звідки відцентровими насосами марки Д 200–36 транспортується у внутрішній мережі підприємства на господарсько-побутові та протипожежні потреби. Облік споживання води здійснюється за допомогою сертифікованих засобів вимірювання. Санітарні зони навколо свердловин знаходяться у задовільному стані та відповідають нормативам.

Безпосередньо об'єктом енергетичного обстеження є насосна станція другого підйому, яка розміщена в окремій одноповерховій будівлі розміром 12×8 м. Конструкція будівлі типова: цегляні стіни, металеві двері, дерев'яні вікна з одинарним склінням.

На рисунку 2.1 представлено принципову гідравлічну схему насосної станції.

На об'єкті встановлено три насосні агрегати: два насосні агрегати Д 200–36 (один робочий, другий резервний) та один насос Д 200–65 для забезпечення пожежогасіння. Живлення здійснюється від трифазної електромережі з напругою 380 В.

Насос Д 200–36 — горизонтальний, з робочим колесом двостороннього входу, призначений для перекачування холодної води (до +85 °С) та інших нейтральних рідин, які не містять великої кількості твердих домішок. Корпус насоса виготовлений із чавуну марки СЧ 18–36, вал — зі сталі 45. Особливістю конструкції є горизонтальний роз'єм корпусу, що дозволяє виконувати ремонт без демонтажу трубопроводів і двигуна [5]. Двигун з'єднаний із насосом через втулково-пальцеву муфту.

На рисунку 2.2 подано загальний вигляд насоса Д 200–36, а в таблиці 2.1 наведені його технічні характеристики: витрата, напір, потужність, частота обертання, габарити, маса.

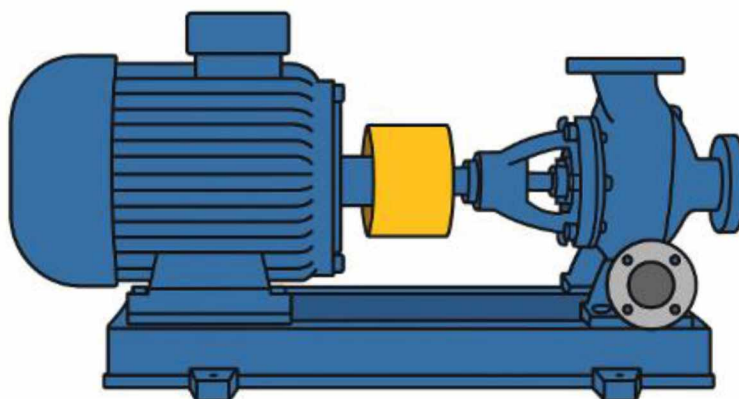


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд насоса Д 200–36

Графік напірної та енергетичної характеристики насосного агрегату подано на рисунку 2.3.

Описана насосна станція відіграє ключову роль у забезпеченні безперебійного водопостачання для внутрішніх потреб ПАТ «Сумське НВО». Вона забезпечує подачу води як для господарсько-побутових цілей, так і для виробничих потреб, включаючи системи охолодження, санітарно-технічне обладнання, а також пожежну безпеку об'єкта. Ефективне функціонування насосної станції є критично важливим для стабільної роботи всіх технологічних

процесів підприємства, особливо з огляду на високий рівень водоспоживання в різних виробничих підрозділах. Крім того, насосна станція є важливою складовою енергетичної інфраструктури об'єкта дослідження, оскільки робота насосного обладнання супроводжується значними витратами електроенергії [6]. Саме тому підвищення енергоефективності, надійності та автоматизація її роботи є пріоритетними завданнями для модернізації та оптимізації системи енергетичного водопостачання всього підприємства.

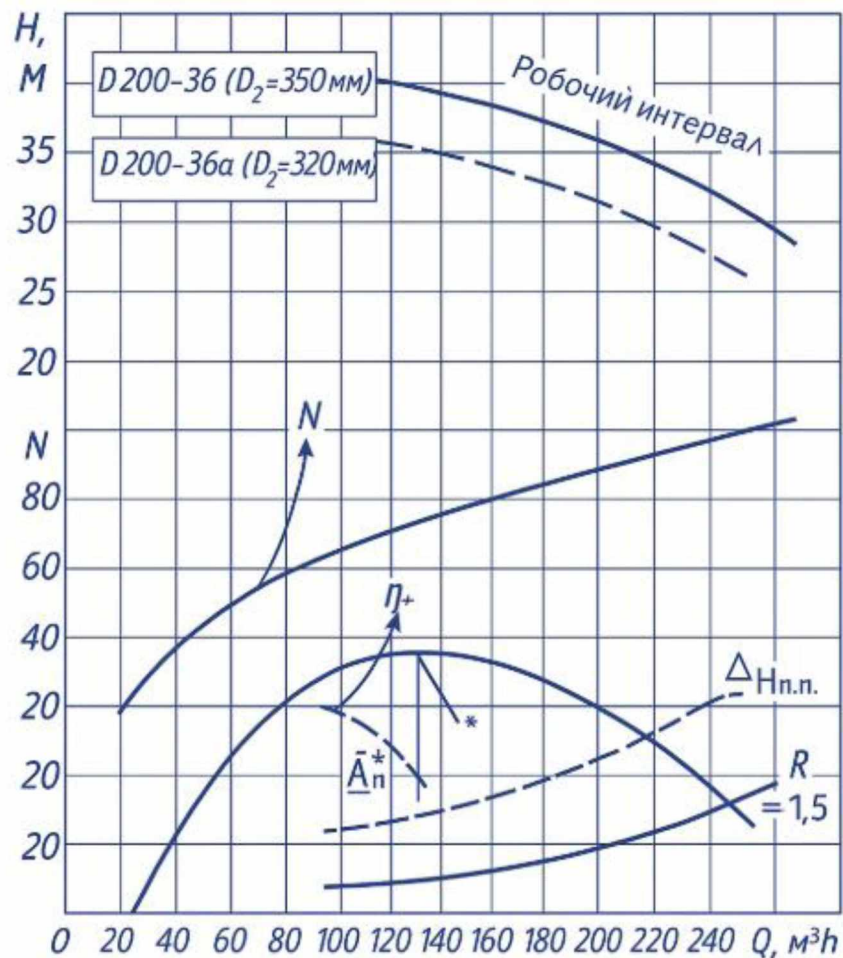


Рисунок 2.3 – Напірна та енергетична характеристики насоса Д 200–36

2.2 Аналіз фактичного енергетичного стану насосної станції

Ефективність роботи насосної установки безпосередньо залежить від характеру змін у режимах водоспоживання на об'єкті. На ці режими впливають різні чинники, зокрема: графік роботи підприємства, погодні умови, ступінь виробничого навантаження, а також кількість аварійних ситуацій та поривів у

мережі. Водоспоживання найчастіше має циклічний характер і визначається щоденними та тижневими коливаннями, що відображається у відповідних графіках.

З метою проведення інструментального аналізу, на насосній станції компресорного цеху ПАТ «Сумське НВО» було встановлено ультразвуковий витратомір-лічильник «Взлет ПР», схема встановлення якого наведена на рис. 2.4.

За допомогою приладу здійснено добове щогодинне вимірювання водоспоживання в період із 9:00 26.03.2012 до 10:00 27.03.2012. Результати вимірювання наведено у вигляді графіка (рисунок 2.5).

Аналіз отриманих результатів показав, що найнижчий рівень споживання води спостерігається у проміжку між 2:00 та 7:00 годинами ранку. З 8:00 водоспоживання починає зростати і досягає свого максимуму близько 16:30. Ще один, менш виражений спад у водоспоживанні спостерігається між 18:00 та 20:00. Додатковий пік споживання води зафіксовано о 01:00, що, найімовірніше, пов'язано із закінченням змін працівників та прийняттям душу після роботи.

З урахуванням характеру зміни водоспоживання, було виконано математичне моделювання енергетичних характеристик насосної установки з використанням степеневої параболічної залежності. Проведено розрахунки напору, витрат електроенергії та питомої енергоємності за добу, які наведено у таблиці 2.2.

Результати аналізу вказують на суттєву перевитрату електроенергії через невідповідність характеристик встановлених насосів до фактичних умов роботи системи. Особливо це помітно в періоди низького водоспоживання, коли енергоємність установки зростає. Середній показник енергоємності насосної станції становить $0,53 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, що свідчить про неефективне використання енергоресурсів і вказує на потребу в модернізації насосного обладнання [8].

Для подальшого уточнення режимів роботи насосної установки було використано програмний комплекс MIKE NET, який дозволив здійснити гідравлічне моделювання системи водопостачання компресорного виробництва. Моделювання враховувало фактичну конфігурацію трубопроводів, кути

повороту, довжину ділянок, геодезичні відмітки, внутрішню шорсткість та місцеві втрати. Результати моделювання виявили надлишковий тиск у системі, що сприяє підвищеному споживанню електроенергії, зношуванню трубопроводів, зменшенню строку служби обладнання та аварійності [9].

Схеми розподілу тисків та потоків у системі були побудовані для трьох основних режимів: максимального, мінімального та середнього водоспоживання. Аналіз графіків показав перевищення допустимого тиску як у системі в цілому, так і на окремих споживачах, що є неприйнятним з точки зору надійності та енергоефективності [10].

Особливістю закільцьованої системи є рівномірний розподіл потоків між окремими ділянками, що дозволяє здійснювати ремонт без порушення водопостачання до споживачів. Завдяки функціоналу MIKE NET було візуалізовано значення потоків на кожній ділянці, що дозволило визначити характер зміни гідравлічних параметрів при зміні навантаження [2].

Висновки до розділу 2

У результаті проведеного аналізу було встановлено, що насосна станція другого підйому ПАТ «Сумське НВО» є ключовим елементом енергетичної інфраструктури підприємства, який забезпечує водопостачання для технологічних, господарсько-побутових та протипожежних потреб. Аналіз роботи обладнання виявив істотну невідповідність між характеристиками встановлених насосних агрегатів та реальними режимами водоспоживання, що призводить до неефективного використання електроенергії, особливо у періоди низького навантаження.

Середній показник питомої енергоємності насосної станції становить 0,53 кВт·год/м³, що свідчить про значний потенціал для енергозбереження. За допомогою програмного моделювання в середовищі MIKE NET виявлено надмірні значення тиску в системі водопостачання, що негативно впливає на експлуатаційні характеристики трубопроводів та насосного обладнання. Виявлені проблеми вказують на доцільність модернізації насосної станції, зокрема шляхом впровадження частотного регулювання, адаптації кількості працюючих насосів до фактичного водоспоживання та перегляду параметрів системи для зниження енерговитрат.

РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ НА ОСНОВІ СТУПЕНЕВОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Аналіз ефективності застосування ступеневого регулювання в насосній станції

У ході комплексного аналізу роботи насосної станції ПАТ «Сумське НВО», здійсненого з використанням ультразвукового витратоміра «Взлет ПР» та програмного забезпечення MIKE NET для моделювання гідравлічних процесів, були визначені надмірні витрати енергії та потенціал для підвищення енергоефективності. Виходячи з отриманих результатів, запропоновано низку енергоощадних заходів, зокрема реалізацію різних схем регулювання продуктивності насосного обладнання: ступеневого, частотного та комбінованого.

Окрему увагу було приділено аналізу ступеневого регулювання, за якого корекція робочих параметрів насосної станції досягається шляхом вмикання чи вимикання певної кількості насосних агрегатів [12]. Частота перемикавання та кількість задіяних агрегатів залежать від обсягів водоспоживання і гідравлічних характеристик мережі.

Цей спосіб вважається одним із найпростіших і найекономічніших. Його ефективність особливо проявляється у випадках, коли типова подача одного насоса перевищує обсяги споживання в години мінімального водорозбору. Щоб уникнути експлуатації потужного обладнання в режимах низького навантаження, що спричиняє падіння ККД, передбачається використання допоміжних агрегатів меншої продуктивності [13].

У рамках аналізу було оцінено ефективність роботи існуючих насосів типу Д 200–35, які показали невідповідність поточним гідравлічним умовам та виявилися енергоємними. З метою підвищення енергоефективності розглянуто низку альтернативних варіантів модернізації станції з використанням насосів моделей К 100–65–200б/2–5, КМ 100–80–160, КМ 100–65–200а/2–5 і КМ 80–65–160а/2–5. Для кожного з них здійснено детальний розрахунок витрат

електроенергії та питомої енергоємності впродовж добового циклу експлуатації [14].

3.2 Ступеневе регулювання з використанням насосу типу К 100–65–2006/2–5

На першому етапі модернізації насосної станції було запропоновано реалізувати ступеневе регулювання на базі насосів типу К 100–65–2006/2–5. Проведено математичне моделювання енергетичних характеристик цих агрегатів. Залежності напору та потужності від витрати були описані за допомогою степеневих параболічних рівнянь:

$$H(Q) = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 + 0,032 \cdot Q + 32,5 \quad (3.1)$$

$$N(Q) = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2 + 0,069 \cdot Q + 6 \quad (3.2)$$

За результатами обчислень було визначено техніко-економічні показники роботи насосної станції у форматі погодинного добового графіка. Результати наведено в таблиці 3.1.

Отримані дані дозволили проаналізувати характер змін питомої енергоємності впродовж доби. Найвищі значення були зафіксовані в години мінімального водоспоживання (переважно з 3:00 до 8:00), що свідчить про невідповідність потужності насосів у ці періоди.

У середньому питома енергоємність роботи насосної станції при застосуванні двох агрегатів типу К 100–65–2006/2–5 склала 0,28 кВт·год/м³, що є значним покращенням у порівнянні з попередньою конфігурацією на основі насосів Д 200–35. Проте подальший аналіз інших моделей насосів дозволив виявити ще кращі варіанти зниження енергоспоживання, які будуть розглянуті у наступних підрозділах.

3.3 Ступеневе регулювання з використанням насосів типу К 100–80–160

У ході розрахунків було змодельовано добовий режим роботи насосної станції з трьома насосними агрегатами типу КМ 100–80–160. Кожен з них має продуктивність, що дозволяє ефективно покривати потреби споживачів у різні періоди навантаження, зокрема в години пікового і мінімального водоспоживання. Такий підхід дозволяє забезпечити безперебійну подачу води при раціональному використанні електроенергії [2].

Параметри роботи насосів, такі як подача, напір та споживана потужність, були апроксимовані за допомогою параболічних залежностей, аналогічно до попередніх варіантів. Математичне моделювання дозволило визначити напірну характеристику $H(Q)$ та енергетичну характеристику $N(Q)$, що враховують зміну витрати води протягом доби. Отримані результати свідчать про високий ступінь енергетичної ефективності цієї конфігурації.

Згідно з розрахунками, добовий профіль споживання електроенергії насосами типу КМ 100–80–160 демонструє стабільну роботу в межах технічних характеристик. Середнє значення питомої енергоємності склало 0,06 кВт·год/м³, що є найнижчим серед усіх розглянутих варіантів. Це досягається завдяки відповідності характеристик насосів фактичним режимам водоспоживання.

Найбільш енергоефективна робота спостерігалася в нічний та ранковий час (з 1:00 до 9:00), коли насосна станція функціонувала при зниженому навантаженні. Водночас навіть у години пікового споживання (13:00–17:00), показники питомої енергоємності залишалися в допустимих межах, не перевищуючи 0,12 кВт·год/м³.

У таблиці 3.2 наведено розрахункові значення основних параметрів роботи насосної станції при застосуванні ступеневого регулювання трьома насосними агрегатами КМ 100–80–160. Дані таблиці підтверджують стабільність режиму роботи насосної станції та демонструють її здатність адаптуватися до змін навантаження без значного зниження енергоефективності [16].

Таблиця 3.2 – Споживана енергія і енергоємність насосної станції при ступеневому регулюванні трьома насосними агрегатами

t, год	Q, м ³ /год	H, м	n, штук	N, кВт	ЕЕ, кВт*год/м
1	62,33	30,0	1	1,68	0,02
2	156,80	29,47	3	1,21	0,01
3	40,38	30,39	1	3,65	0,02
4	16,79	30,74	1	1,91	0,11
5	12,42	30,81	1	1,93	0,15
6	7,98	30,88	1	1,96	0,24
7	14,93	30,77	1	1,92	0,12
8	14,56	30,78	1	1,92	0,13
9	40,31	30,39	1	1,79	0,04
10	52,96	30,20	1	1,73	0,03
11	55,40	30,16	1	1,72	0,03
12	51,35	30,22	1	1,74	0,03

На графіку (рисунок 3.1) наведена залежність питомої енергоємності насосів КМ 100-80-160 від часу в годинах.

Наведений графік, який відображає зміну питомої енергоємності насосів КМ 100–80–160 протягом доби. Видно, що найменше значення спостерігається в періоди високого водоспоживання, що свідчить про ефективність ступеневого регулювання в таких умовах.

3.4 Ступеневе регулювання з використанням насосів типу КМ 100–65–200а/2–5

Для подальшого удосконалення енергоспоживання насосної станції розглянуто сценарій ступеневого регулювання з використанням чотирьох насосних агрегатів типу КМ 100–65–200а/2–5, технічні параметри яких

дозволяють забезпечити необхідний напір при помірних витратах електроенергії [13].

Розрахунок здійснено на основі степеневі параболічної моделі, яка описує залежності гідравлічної характеристики (3.3) та енергоспоживання (3.4) від витрати:

$$H(Q) = 0,5 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 0,004 \cdot Q + 32,5 \quad (3.3)$$

$$N(Q) = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 + 0,073 \cdot Q + 4,7 \quad (3.4)$$

На основі цих залежностей визначено добову динаміку енергоспоживання та питомої енергоємності насосної станції (таблиця 3.3). Аналіз показує, що у порівнянні з варіантом, де використовуються два насоси К 100–65–200б/2–5, середнє значення питомих витрат енергії зросло з 0,28 до 0,38 кВт·год/м³. Це свідчить про певне зниження енергоефективності системи при застосуванні чотирьох насосів КМ 100–65–200а/2–5, що зумовлено роботою обладнання з надлишковою потужністю в періоди низького навантаження. Такий варіант забезпечує гнучкість регулювання продуктивності та стабільні гідравлічні параметри при змінному споживанні води. Значення питомої енергоємності коливається в межах від 0,19 до 0,66 кВт·год/м³ упродовж доби.

Окрему увагу варто звернути на те, що вказане обладнання може використовуватися у режимі часткового резервування, що дозволяє підвищити надійність системи при збереженні енергоефективного режиму в години середнього навантаження.

Застосування чотирьох насосів КМ 100–65–200а/2–5 не є найоптимальнішим варіантом з точки зору мінімізації питомих витрат електроенергії, цей підхід забезпечує надійну роботу системи за будь-яких умов споживання. Він може бути рекомендований для систем, де пріоритетом є гнучкість, резервування та стабільність подачі, особливо в умовах коливань водоспоживання.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Проведене дослідження підтвердило, що ступеневе регулювання є ефективним засобом підвищення енергоефективності насосних станцій. У процесі аналізу роботи насосного обладнання ПАТ «Сумське НВО» встановлено, що існуючі насоси типу Д 200–35 не відповідають сучасним умовам експлуатації, мають завищені витрати енергії та функціонують з низьким коефіцієнтом корисної дії в умовах змінного навантаження.

Розрахунки з використанням насосів типу К 100–65–200б/2–5, КМ 100–80–160, КМ 100–65–200а/2–5 і КМ 80–65–160а/2–5 дозволили порівняти різні варіанти модернізації. Найбільш енергоефективним виявився варіант із трьома насосами КМ 100–80–160, де середня енергоємність склала лише 0,06 кВт·год/м³.

Впровадження ступеневого регулювання з оптимально підібраними насосними агрегатами дозволяє не лише скоротити енергоспоживання, а й забезпечити гнучке управління системою водопостачання відповідно до динамічних потреб споживачів. Зазначений підхід є надійною основою для подальшої модернізації та автоматизації роботи насосної станції.

РОЗДІЛ 4 МОДЕРНІЗАЦІЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ

4.1 Модернізація насосної станції із застосуванням частотного регулювання

Одним із ефективних методів керування насосними установками є частотне регулювання, що ґрунтується на зміні швидкості обертання робочого колеса. При цьому змінюються основні експлуатаційні параметри насоса — подача, напір і потужність — згідно з законами подібності [14]. Ці зміни описуються такими співвідношеннями:

$$\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{n_0}{n_1}, \quad (4.1)$$

$$\frac{H_0}{H_1} = \left(\frac{n_0}{n_1} \right)^2 \quad (4.2)$$

$$\frac{N_0}{N_1} = \left(\frac{n_0}{n_1} \right)^3 \quad (4.3)$$

де Q — витрата води, n — частота обертання, H — напір, N — споживана потужність. Індекси позначають початкові та змінені значення відповідно. Вказані залежності справедливі за умови збереження сталого ККД установки в усіх відповідних робочих точках [15].

Практичні дослідження довели, що зменшення частоти обертання на 10 % призводить до незначного зниження ККД — лише на 1 %, що свідчить про доцільність застосування частотного регулювання з енергетичної точки зору.

Математичне моделювання режимів роботи насосів при частотному регулюванні здійснюється за допомогою таких рівнянь:

$$H_1 = a_{n0} \cdot \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^2 + b_{n0} \cdot \frac{n_1}{n_0} \cdot Q + c_{n0} \cdot Q^2 \quad (4.4)$$

$$N_1 = a_{N0} \cdot \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^3 + b_{N0} \cdot \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^2 \cdot Q + c_{N0} \cdot \frac{n_1}{n_0} \cdot Q^2 \quad (4.5)$$

де a , b , c — конструктивні коефіцієнти, які залежать від типу насоса.

Головною умовою ефективної роботи насосної станції в такому режимі є стабільне підтримання тиску в системі, що забезпечує відповідність гідравлічних параметрів нормативним значенням у будь-який момент часу. Такий підхід дозволяє гарантувати якість водопостачання при змінному споживанні [12].

До основних переваг частотного регулювання належать енергозбереження, плавне керування та можливість точного налаштування режимів роботи. Серед недоліків — підвищені капітальні витрати на встановлення обладнання та необхідність залучення кваліфікованого обслуговуючого персоналу.

Для оцінки доцільності використання цього способу було проведено аналіз ефективності насосної установки типу Д 200–35. В якості частотного перетворювача було обрано пристрій виробництва Grundfos, здатний керувати асинхронними електродвигунами потужністю від 0,25 до 30 кВт, при номінальній напрузі 380 В і частоті 50 Гц.

До основного функціоналу частотного перетворювача входять:

- захист електродвигуна;
- вбудований ПД-регулятор;
- управління за вольт-частотною характеристикою тощо.

Використовуючи математичну модель споживання води та аналітичні характеристики насоса Д 200–35, було здійснено розрахунок добового споживання електроенергії та питомої енергоємності при частотному регулюванні (таблиця 4.1).

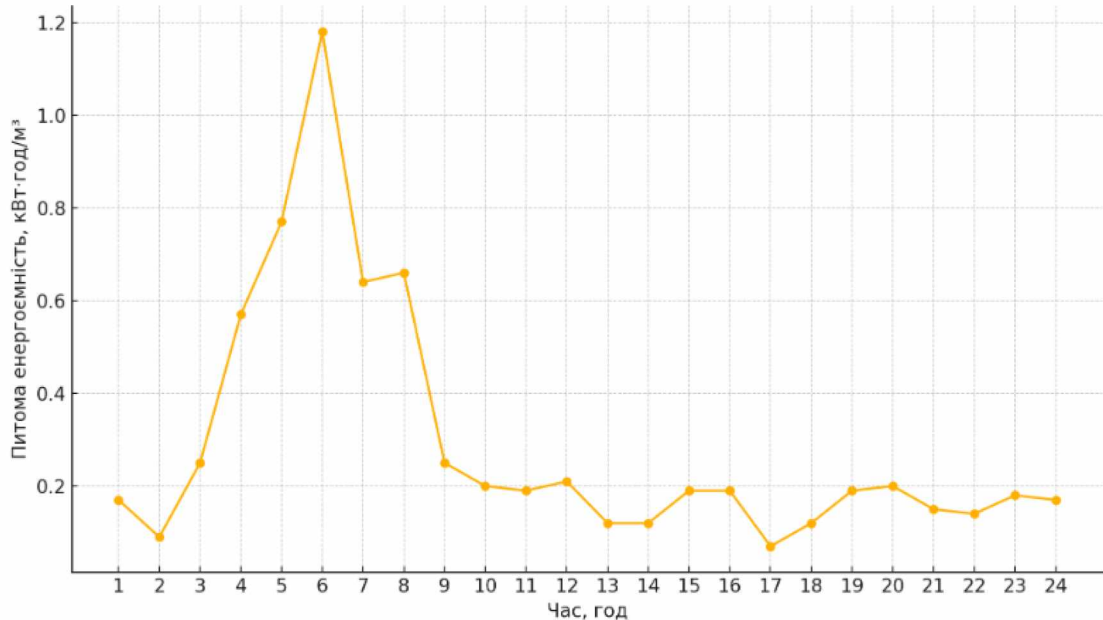


Рисунок 4.1 Графік змін енергоємності протягом доби

На рисунку 4.1 наведено зміну енергоємності протягом доби. Середнє значення склало $0,32 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, що є нижчим у порівнянні з аналогічною роботою без частотного перетворювача [18].

Отримані результати свідчать про доцільність впровадження частотного регулювання на насосних станціях, зокрема для одного з агрегатів, що дає змогу зменшити енергоспоживання та підвищити адаптивність системи до змін навантаження.

4.2 Комбіноване регулювання насосної станції шляхом зміни кількості агрегатів і частотного керування

Комбінований підхід до регулювання режимів роботи насосної станції передбачає одночасне використання традиційного ступеневого регулювання та частотного перетворювача. Така стратегія дозволяє поєднати переваги обох методів, забезпечуючи як гнучкість управління, так і високу енергоефективність [19].

Для дослідження ефективності цього підходу на об'єкті було змодельовано роботу насосної станції з трьома насосними агрегатами типу КМ 100–80–160. Два з них працюють у фіксованому режимі (без частотного регулювання), тоді

як третій агрегат оснащено частотним перетворювачем. Це дозволяє динамічно змінювати подачу, мінімізуючи перевитрати електроенергії [17].

Для аналізу було використано аналітичну модель, що описує параболічну залежність між подачею насосів, їхнім енергоспоживанням і напором у мережі. На основі цих розрахунків було визначено тиск на виході з насосної станції, сумарну потужність споживання та питому енергоємність упродовж доби. Дані представлені в таблиці 4.2.

Результати показали, що середнє значення питомої енергоємності при комбінованому регулюванні становить $0,06 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, що є найнижчим серед усіх розглянутих варіантів. Це свідчить про високу ефективність даного підходу в умовах змінного водоспоживання, характерного для промислових підприємств [3].

Такий режим дає змогу уникнути надмірного споживання енергії в години низького навантаження, а також оперативно реагувати на підвищення попиту. Крім того, завдяки використанню частотного перетворювача, забезпечується підтримання тиску в мережі на необхідному рівні, що особливо важливо для стабільної роботи технологічного обладнання [16].

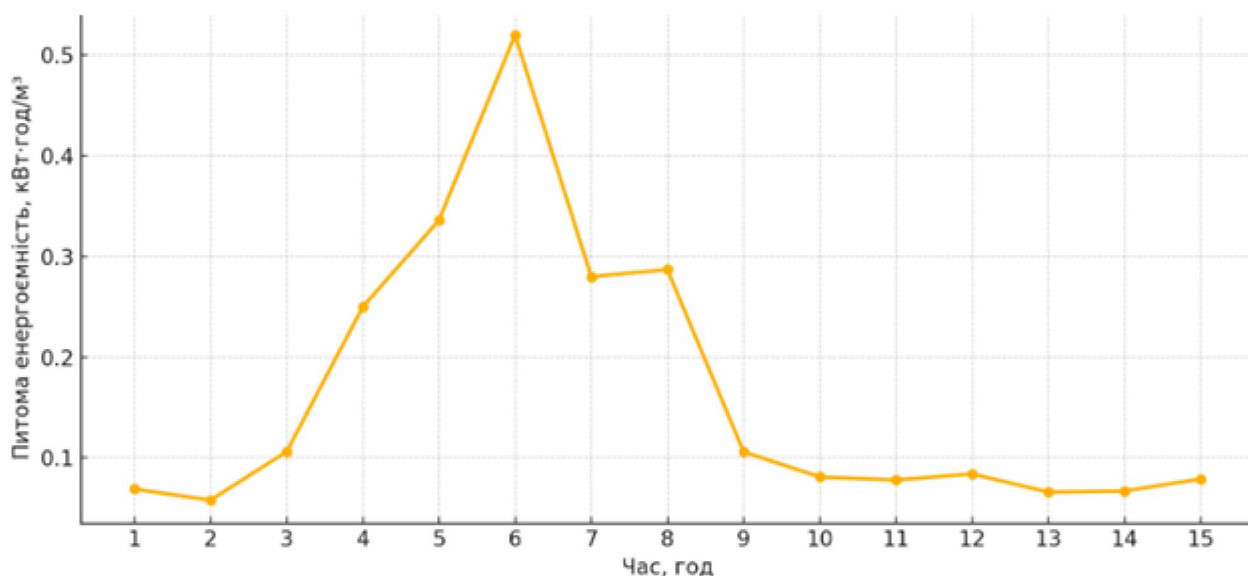


Рисунок 4.2 – Графік добової динаміки питомої енергоємності при комбінованому регулюванні

Графік демонструє стабільні показники енерговитрат протягом доби з незначними коливаннями в ранкові години.

Впровадження комбінованої схеми регулювання дозволяє значно покращити енергетичну ефективність насосної станції, забезпечити стабільну подачу води при мінімальних енергозатратах, та підвищити надійність і гнучкість системи водопостачання загалом.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Застосування частотного регулювання насосних агрегатів виявилось ефективним способом керування їхньою продуктивністю шляхом зміни частоти обертання електродвигунів. Це дозволяє адаптувати подачу води до реального водоспоживання та знизити споживання електроенергії.

Теоретичне обґрунтування, побудоване на законах подібності (для витрати, напору та потужності), підтверджує ефективність методу частотного регулювання за умов збереження постійного ККД насосного обладнання. Дослідження довели, що навіть при зменшенні швидкості обертання на 10 % втрати ККД є незначними (близько 1 %), що робить цей підхід доцільним з енергетичної точки зору.

Математичне моделювання режимів роботи насоса типу Д 200–35 із використанням частотного перетворювача виробництва Grundfos дозволило визначити зміну добового енергоспоживання та питомої енергоємності в динаміці. Середнє значення питомої енергоємності склало $0,32 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, що є меншим у порівнянні з роботою насосної установки без частотного регулювання.

Аналіз отриманих даних засвідчив стабільну роботу насосної станції при змінних навантаженнях, завдяки здатності частотного регулювання підтримувати необхідний тиск у системі водопостачання протягом доби.

До основних переваг впровадження частотного регулювання відносяться:

- значне зниження енергоспоживання;
- гнучке налаштування режимів роботи;
- підвищення якості управління водопостачанням.

Водночас слід враховувати такі обмеження, як підвищені початкові витрати на придбання та впровадження частотних перетворювачів.

Впровадження частотного регулювання [18] на насосній станції дозволяє не лише скоротити енергетичні витрати, але й підвищити надійність та адаптивність системи до змінних умов споживання, що є критично важливим для сучасних промислових об'єктів.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

5.1 Заходи з охорони праці при експлуатації насосної станції

Насосна станція належить до першої категорії надійності і забезпечує подачу води із резервуарів чистої води у виробничу мережу. У машинному залі розміщено два насоси марки Д200х36 та один резервний насос марки Д320х50. Територія об'єкта облаштована під'їзними шляхами та пішохідними доріжками, які регулярно очищаються від сміття та снігу, освітлюються у темну пору доби. Забезпечено необхідні умови для безпечного пересування працівників та доступу до обладнання.

Умови безпечної експлуатації та технічні вимоги

Всі технічні елементи та будівлі насосної станції спроектовані з дотриманням норм безпеки [20, 21]:

- освітлення – комбіноване (природне та штучне), рівень освітленості відповідає нормі 300 лк;
- підлога – рівна, неслизька, легко очищується;
- висота приміщень та проходів відповідає вимогам нормативів;
- встановлені перехідні містки та драбини з поручнями на ділянках трубопроводів;
- територія огорожена, є зовнішнє освітлення.

Окрему увагу приділено кольоровому оформленню приміщень відповідно до СН 181–70 та забезпеченню протиковзкого покриття підлоги. Усі двері відчиняються назовні, у дверних прорізах відсутні пороги, що сприяє вільній евакуації.

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Відповідно до ГОСТ 12.3.006–75 на об'єкті наявні наступні фактори:

- механічні: рухомі частини електродвигунів та насосів, елементи вантажопідійомних механізмів. захист – кожухи на муфтах і приводах.

- електричні: трифазна напруга 380 в, висока вологість, пил. вжито заходів щодо заземлення, використання захисних засобів.
- гідравлічні ризики: системи трубопроводів обладнані запобіжними клапанами та мембранами, проводиться регулярне гідровипробування.
- інші фактори: шум (71–79 дБ, в межах допустимого), вібрація – в межах групи в згідно ISO 10816–3.

Аварійна зупинка насосного агрегату виконується при виявленні ознак несправності, з подальшим повідомленням диспетчера та запуском резервного обладнання.

Санітарно-гігієнічні умови

Мікроклімат:

- температура: 21 °С
- вологість: 42%
- швидкість повітря: 0,12 м/с

Усі показники відповідають ГОСТ 12.1.005–88 та СНиП 2.04.05.

Освітлення

Категорія зорових робіт – IV, освітленість забезпечено відповідно до норм – 300 лк.

Шум і вібрація

Шум не перевищує 80 дБА (ДСТУ 2293–99), вібрації в межах нормативних значень для об'єкта даного типу.

Пожежна безпека

Станція належить до категорії «Д» згідно з ДСТУ 2272–93. Основні пожежні ризики:

- замикання електропроводки;
- несправності обладнання;
- куріння в заборонених місцях.

Об'єкт обладнано системами пожежного зв'язку, протипожежним водопостачанням, вогнегасником типу ОУ-3, ящиком з піском. Евакуаційний вихід один, добре позначений. Встановлено інформаційні таблички з номерами екстрених служб та схемами евакуації.

5.2 Екологічна експертиза проектного рішення

Екологічна експертиза є невід'ємною частиною оцінки проектного рішення з точки зору його впливу на навколишнє природне середовище. Її мета — виявлення потенційно негативних екологічних наслідків, що можуть виникнути в результаті реалізації проекту, а також розробка заходів для їх запобігання або мінімізації.

Основними завданнями є [23]:

- аналіз відповідності проектного рішення вимогам природоохоронного законодавства;
- оцінка впливу на атмосферне повітря, водні ресурси, ґрунти, рівень шуму та енергоспоживання;
- розробка рекомендацій з підвищення екологічної безпеки об'єкта.

Аналіз екологічних аспектів об'єкта

Проектна модернізація насосної станції включає заміну застарілого електроприводного обладнання, впровадження частотного регулювання та автоматизації процесів, що дозволяє знизити споживання електроенергії, підвищити надійність та зменшити технічні втрати води.

Вплив на атмосферне повітря

Експлуатація насосної станції не передбачає безпосередніх викидів у повітря, однак модернізація обладнання дозволяє зменшити непрямі викиди парникових газів завдяки зниженню енергоспоживання.

Вплив на водні ресурси

У процесі експлуатації станції не здійснюється скид забруднених стоків у водні об'єкти. Впроваджені заходи підвищують ефективність використання води, зменшують імовірність витоків.

Вплив на ґрунти

Під час експлуатації насосної станції прямого контакту з ґрунтом не відбувається. Територія об'єкта впорядкована, має твердий покрив, що запобігає розмиванню ґрунту та потраплянню шкідливих речовин.

Рівень шуму

Рівень шуму в результаті впровадження нових насосів знижується, що позитивно впливає на стан навколишнього середовища і санітарно-гігієнічні умови праці персоналу.

Енергоспоживання та ресурсозбереження

Використання частотного перетворювача дозволяє адаптувати режим роботи електропривода до фактичного навантаження, що забезпечує економію електроенергії на 15–25%. Це знижує екологічний слід підприємства та сприяє раціональному використанню енергоресурсів.

Відповідність екологічним нормам

Проектне рішення відповідає вимогам наступних нормативних документів:

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- Водний кодекс України;
- ДБН В.2.5–75:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди»;
- ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління»;
- ДСТУ 2293–99 (рівні шуму);
- ГОСТ 12.1.005–88 (мікроклімат виробничих приміщень).

Проект не передбачає створення об'єктів, що підлягають обов'язковій державній екологічній експертизі, та не входить до переліку діяльностей з високим ступенем екологічного ризику.

Проект модернізації насосної станції є екологічно обґрунтованим, технічно доцільним та відповідає чинному природоохоронному законодавству. Його реалізація сприятиме:

- зниженню енергоспоживання;
- покращенню санітарно-гігієнічних умов праці;
- мінімізації впливу на навколишнє середовище;
- підвищенню ефективності та надійності роботи системи водопостачання.

Рекомендовано впровадити систему моніторингу енергоефективності та рівня шуму, а також здійснювати регулярну оцінку екологічного стану території насосної станції.

5.3 Економічна ефективність проєкту станції водозабезпечення

Економічне обґрунтування є ключовим елементом прийняття інженерних рішень, оскільки дозволяє оцінити не лише технічну, а й фінансову доцільність модернізації насосного обладнання [24]. Метою цього розділу є аналіз і розрахунок економічної ефективності впровадження частотного регулювання електроприводів насосної станції з урахуванням капітальних і експлуатаційних витрат, а також терміну окупності проєкту та очікуваного прибутку за весь життєвий цикл модернізованої системи [25].

Характеристика вихідних даних

Для розрахунків були використані наступні початкові дані:

- Тип насосів – Д200х36 (2 од.) та резервний Д320х50 (1 од.);
- Потужність одного електродвигуна – 30 кВт;
- Середній щоденний час роботи – 16 годин;
- Кількість робочих днів на рік – 330;
- Експлуатаційний термін модернізованої установки – 7 років;
- Тариф на електроенергію – 5,5 грн/кВт·год;
- Очікуване зниження енергоспоживання після модернізації – 20%;
- Вартість частотного перетворювача та монтажних робіт – 65 000 грн;
- Річна вартість обслуговування електроприводної системи після модернізації – 12 000 грн.

Розрахунок поточних витрат до модернізації

Річне енергоспоживання:

$$W_{до} = P \cdot t \cdot d \cdot n = 30 \cdot 16 \cdot 330 \cdot 2 = 316800 \text{ кВт/год}$$

Річні витрати на електроенергію:

$$C_{\text{до}} = W_{\text{до}} \cdot T = 316800 \cdot 5,5 = 1\,742\,400 \text{ грн}$$

Інші експлуатаційні витрати:

- Поточний ремонт і обслуговування: 20 000 грн/рік
- Вартість амортизації застарілого обладнання: 15 000 грн/рік

Сумарні витрати до модернізації:

$$V_{\text{до}} = C_{\text{до}} + 20\,000 + 15\,000 = 1\,777\,400 \text{ грн/рік}$$

Очікувані витрати після модернізації

Річне енергоспоживання після впровадження частотного регулювання:

$$W_{\text{після}} = 0,8 \cdot W_{\text{до}} = 253\,440 \text{ кВт/год}$$

Річні витрати на електроенергію:

$$C_{\text{після}} = 253\,440 \cdot 5,5 = 1\,394\,920 \text{ грн}$$

Інші витрати:

- поточне обслуговування частотно-регульованого приводу: 12000 грн/рік
- вартість капітального ремонту (розподілена на 7 років): 5000 грн/рік
- амортизація нового обладнання: 6500 грн/рік.

Сумарні витрати після модернізації:

$$V_{\text{після}} = C_{\text{після}} + 12000 + 5000 + 6500 = 1\,418\,420 \text{ грн/рік}$$

Економічний ефект від модернізації

Річна економія:

$$\Delta E = V_{\text{до}} - V_{\text{після}} = 1\,777\,400 - 1\,418\,420 = 358\,980 \text{ грн}$$

Чистий прибуток за 7 років:

$$P = \Delta E \cdot 7 = 358\,980 \cdot 7 = 2\,512\,860 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$T_{\text{окуп}} = \text{Інвестиції} / \text{Річна економія} = 65\,000\,358\,980 \approx 0,18 \text{ року } (\approx 2,2 \text{ місяця})$$

Ефективність інвестицій

Для оцінки інвестиційної привабливості використовуємо коефіцієнт економічної ефективності (КЕЕ):

$$\text{КЕЕ} = \text{Річна економія} / \text{Інвестиції} = 358\,980 / 65\,000 \approx 5,52$$

Коефіцієнт значно перевищує нормативний рівень ($\text{КЕЕ} > 0,33$), що свідчить про високу інвестиційну ефективність проекту.

Додаткові соціально-економічні вигоди:

- зменшення навантаження на енергосистему підприємства;
- покращення умов праці персоналу завдяки зменшенню шуму та вібрацій;
- зниження частоти аварійних ситуацій;
- зменшення викидів CO_2 за рахунок зниження споживання енергії, що сприяє екологічній відповідальності підприємства.

Проаналізоване технічне рішення модернізації насосної станції з використанням частотного регулювання електроприводів є економічно обгрунтованим, технічно ефективним та екологічно доцільним. Очікуваний термін окупності становить менше 3 місяців, а річна економія досягає майже 360 тис. грн. Загальний прибуток за період експлуатації (7 років) складе понад 2,5 млн грн, що свідчить про значну рентабельність та практичну цінність проекту.

Висновки до розділу 5

У ході проведеного аналізу встановлено, що насосна станція відповідає першій категорії надійності та відіграє ключову роль у забезпеченні безперебійної подачі води у виробничу мережу. Усі технічні елементи інфраструктури, включаючи насосне обладнання, машинний зал, під'їзди та проходи, організовані відповідно до чинних нормативно-правових актів у галузі охорони праці, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічних вимог.

Забезпечено належний рівень освітлення, безпечне покриття підлоги, вільний доступ до агрегатів та евакуаційних шляхів, наявність табличок і засобів пожежогасіння. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів показав, що потенційні ризики (механічні, електричні, гідравлічні, шумові та вібраційні) враховані в конструкції об'єкта, а впроваджені засоби захисту ефективно мінімізують їх вплив на персонал.

Проведена екологічна експертиза засвідчила, що модернізація насосної станції шляхом встановлення частотно-регульованого електропривода не лише не створює нових загроз для довкілля, але й сприяє його збереженню. Внаслідок зниження енергоспоживання зменшуються непрямі викиди в атмосферу, а раціональне використання водних ресурсів дозволяє уникнути витоків і несанкціонованих втрат.

З економічної точки зору, проект модернізації є високоефективним. Річна економія на електроенергії та обслуговуванні становить близько 359 тис. грн, а термін окупності – лише 2,2 місяця. За 7 років експлуатації очікуваний чистий прибуток складе понад 2,5 млн грн. Коефіцієнт економічної ефективності впровадженого рішення (5,52) значно перевищує нормативні значення, що підтверджує доцільність інвестицій.

Модернізація насосної станції з технічної, екологічної та економічної точок зору є обґрунтованою та рекомендованою до реалізації на аналогічних об'єктах водопостачання промислових підприємств.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено всебічний аналіз сучасного стану систем енергетичного водопостачання, який підтвердив високу енергоємність існуючих насосних станцій через використання застарілого обладнання та неефективних режимів керування.

2. Об'єктом дослідження обрано насосну станцію другого підйому ПАТ «Сумське НВО», яка забезпечує критично важливі функції водопостачання у промисловому виробництві. Було встановлено, що в умовах змінного навантаження обладнання працює з низьким ККД та надмірним споживанням електроенергії.

3. На основі енергетичного аудиту та гідравлічного моделювання системи встановлено надлишкові витрати енергії, особливо в нічні години, коли фактична подача не відповідає потужності насосів. Середня питома енергоємність існуючої установки склала 0,53 кВт·год/м³.

4. Розглянуто та проаналізовано три основні стратегії регулювання насосного обладнання: ступеневе, частотне та комбіноване. Найнижче енергоспоживання (0,06 кВт·год/м³) забезпечило комбіноване регулювання за допомогою частотного перетворювача у поєднанні зі змінною кількістю агрегатів.

5. Запропонована модернізація передбачає впровадження частотного регулювання електроприводів, що дозволяє зменшити витрати електроенергії на 20–25%, знизити зношування обладнання, забезпечити гнучке управління продуктивністю насосів залежно від споживання води.

6. Проведено економічне обґрунтування проекту модернізації, яке показало, що термін окупності становить лише 2,2 місяця, а загальний прибуток за 7 років експлуатації становитиме понад 2,5 млн грн. Коефіцієнт економічної ефективності дорівнює 5,52, що значно перевищує нормативні показники.

7. Екологічна експертиза проекту підтвердила його відповідність чинним нормативам, відсутність прямих викидів у навколишнє середовище, а

також позитивний вплив на рівень шуму, вібрації та раціональне використання водних ресурсів.

8. Практична значимість роботи полягає у можливості впровадження результатів дослідження на аналогічних об'єктах, що забезпечить зниження енергетичних витрат, покращення технічного стану водогосподарських систем та зростання надійності виробничого процесу.