

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – перший «бакалаврський» рівень

на тему: **«Удосконалення електричної схеми живлення насосної установки
системи водопостачання виробничих приміщень»**

Виконав: студент групи Ен-42

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

(підпис) Бойко Даниїл Русланович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник:

_____ к.т.н. в.о.доцента Михалюк М.А.

(підпис)

(наук. ступінь, вч.звання, прізвище, ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С.В.

“ _____ ” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

_____ **Бойко Даниїл Русланович**

1. Тема роботи: **Удосконалення електричної схеми живлення насосної установки системи водопостачання виробничих приміщень.**

Керівник роботи: к.т.н. в.о. доцента Михалюк М.А.

Затверджена наказом по університету від 25.02.2025року №123 /К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи: 05.06.2025року

3. Вихідні дані: інструкції з технічної експлуатації та технічного обслуговування об'єкту водопостачання, нормативи з використання води промисловими підприємствами; патентний пошук та літературні джерела, які стосуються удосконалення пристроїв контролю роботи систем водопостачання; визначення економічної ефективності удосконалення використання технічних засобів для контролю роботи системи водопостачання.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Загальна характеристика об'єкту водопостачання, обґрунтування теми кваліфікаційної роботи.

2. Характеристика системи водопостачання об'єкта та схем керування, що входять до її складу.

3. Вибір, складу та удосконалення схеми керування об'єктом енергопостачання.

4. Охорона праці та захист довкілля.

5. Розрахунок економічного ефекту від використання технічних засобів для контролю роботи системи водопостачання.

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Ілюстративний матеріал: *Подати у формі презентації;*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри Інженерної механіки</i>	25.02.2025	25.02.2025	

7. Дата видачі завдання: 25.02.2025Р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про вико- нання
1	<i>Написання першого розділу</i>	25.02.25-05.03.25	
2	<i>Виконання другого розділу</i>	06.03.25-30.03.25	
3.	<i>Виконання третього розділу та розробка листів конструктивної частини</i>	01.04.25-25.04.25	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	26.04.25-05.05.25	
5.	<i>Розрахунок економічної ефективності запропонованого удосконалення та розробка листа «Економічна ефективність»</i>	06.05.25-18.05.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково- пояснювальної записки та аркушів презентаційної частини</i>	До 05.06.25	

Студент _____ Д. Бойко
(підпис)

Керівник роботи _____ М. Михалюк
(підпис)

Удосконалення електричної схеми живлення насосної установки системи водопостачання виробничих приміщень Бойко Даниїл Русланович
Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, ЛНУВМБ. 2025р. 35ст.
текст. част., рис.10, табл.12., 18 джерел.

Проведений аналіз стану системи водопостачання виробничих приміщень, обсяги споживання енергоносіїв, зокрема системою водопостачання.

Розраховано основні параметри системи водопостачання та здійснено вибір обладнання, а також проведено розрахунок насосів та системи керування.

Розглянуто існуючі схеми керування системами водопостачання, принцип роботи і технічний огляд, підібрана оптимальна електрична схема управління насосами станції другого підйому води.

Розроблено питання охорони праці та екологічної безпеки виробництва.

Впровадження проекту в виробництво матиме строк окупності 2,5 року.

ЗМІСТ

УДК

Вступ

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА	7
1.1 Загальна характеристика	7
1.2 Система водопостачання виробничого приміщення	8
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	9
2 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ	
ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	11
2.1 Розрахунок та вибір типу насосної станції	11
2.2 Вибір обладнання та запірної арматури	12
2.3 Особливості використання води на ремонтних підприємствах	14
2.4 Розрахунок оборотного водопостачання	15
3 РОЗРАЗУНКОВА ЧАСТИНА	17
3.1 Методика розрахунку частотних регуляторів	17
3.2 Вибір автономного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією	23
3.3 Обґрунтування вибору інвертора ШІМ та порівняльний аналіз	24
3.4 Розрахунок основних параметрів інвертора	
з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ)	26
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	27
4.1. Аналіз стану охорони праці на підприємстві	27
4.2 Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму	28
4.3 Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці	29
4.4 Охорона довкілля при використанні водних ресурсів	30
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУ	31
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	

ВСТУП

Системи водопостачання належать до найбільш ресурсомістких об'єктів у сфері комунального господарства та промисловості. Основним чинником їх ресурсомісткості є значне споживання електроенергії. Оскільки Україна належить до країн з обмеженими енергетичними ресурсами, питання енергозбереження є одним із пріоритетних напрямів державної енергетичної політики. З цією метою реалізуються як загальнодержавні, так і регіональні програми з енергоефективності.

Другим суттєвим чинником є велике споживання води, природні запаси якої є обмеженими. Третім важливим аспектом є висока вартість технологічного обладнання, зокрема трубопровідних систем, термін служби яких залежить від частоти перевантажень.

У зв'язку з цим науково-технічне завдання зниження енергоємності процесів водопостачання є особливо актуальним. Його розв'язання сприяє досягненню як соціальних, так і економічних результатів — покращенню якості життя населення, зміцненню економічного потенціалу держави та зниженню негативного впливу на довкілля.

Цю проблему переважно вирішують двома шляхами: перший — впровадження сучаснішого технологічного та електротехнічного обладнання; другий — розвиток систем автоматизації насосних станцій, що дозволяє оптимізувати управління технічними процесами і тим самим підвищити ефективність роботи систем водопостачання.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальна характеристика

На підприємстві, що спеціалізується на ремонті сільськогосподарської техніки, функціонують такі основні виробничі зони:

1. Роздавальна-складальна дільниця — призначена для попередньої зборки та розподілу вузлів техніки перед ремонтом або після нього. Тут також здійснюється збирання після фарбування й тестування агрегатів.
2. Зварювальна дільниця — місце проведення зварювальних робіт, відновлення металевих елементів, рами, навісного обладнання.
3. Фарбувальна дільниця — зона для очищення, ґрунтування та фарбування відновленої техніки.
4. Ремонтний цех — основна частина підприємства, де виконується розбирання, дефектування та безпосередній ремонт тракторів, комбайнів, сівалок тощо.
5. Склад — використовується для зберігання запчастин, матеріалів, інструментів та витратних компонентів.



Рисунок 1.2 - Схема виробничого приміщення

1.2 Система водопостачання виробничого приміщення

Система водопостачання на підприємстві забезпечує безперервну подачу води до всіх зон споживання з урахуванням специфіки виробничих процесів. Джерелом водопостачання є артезіанська свердловина глибиною до 80–100 м або централізоване водопостачання (залежно від розташування підприємства).

Основні компоненти системи:

1. Вузол водопостачання складається з:

- свердловинного або поверхневого насоса;
- системи очищення води (фільтри грубої та тонкої очистки, знезалізнення, пом'якшення);
- ємнісного бака (гідроакумулятора);
- регулюючої арматури.

2. Магістральні трубопроводи з'єднують вузол водоподачі з усіма функціональними зонами:

- зварювальним цехом (вода для охолодження, санітарних потреб);
- фарбувальною дільницею (миття деталей, підготовка поверхонь);
- ремонтним цехом (мийка техніки, охолодження);
- адміністративно-побутовим корпусом (душові, умивальники, кухня);
- зовнішніми точками (гідранти, полив клумб тощо).

3. Система гарячого водопостачання: подача гарячої води забезпечується бойлером або теплообмінником, підключеним до локальної котельні. Для стабільного температурного режиму використовується циркуляційний насос.

4. Система керування: Автоматизована, з контролем тиску, температури і рівня у баках. Включає:

- датчики тиску й рівня;
- частотний перетворювач для оптимізації роботи насосів;
- дисплей або ПЛК для управління.

Особливості: Всі трубопроводи виконані з корозійностійких матеріалів (ПНД, РР, оцинкована сталь).

- Устаткування відповідає вимогам ДБН В.2.5-64:2012.
- У разі аварійного припинення подачі води система забезпечує мінімальний запас у ємностях.

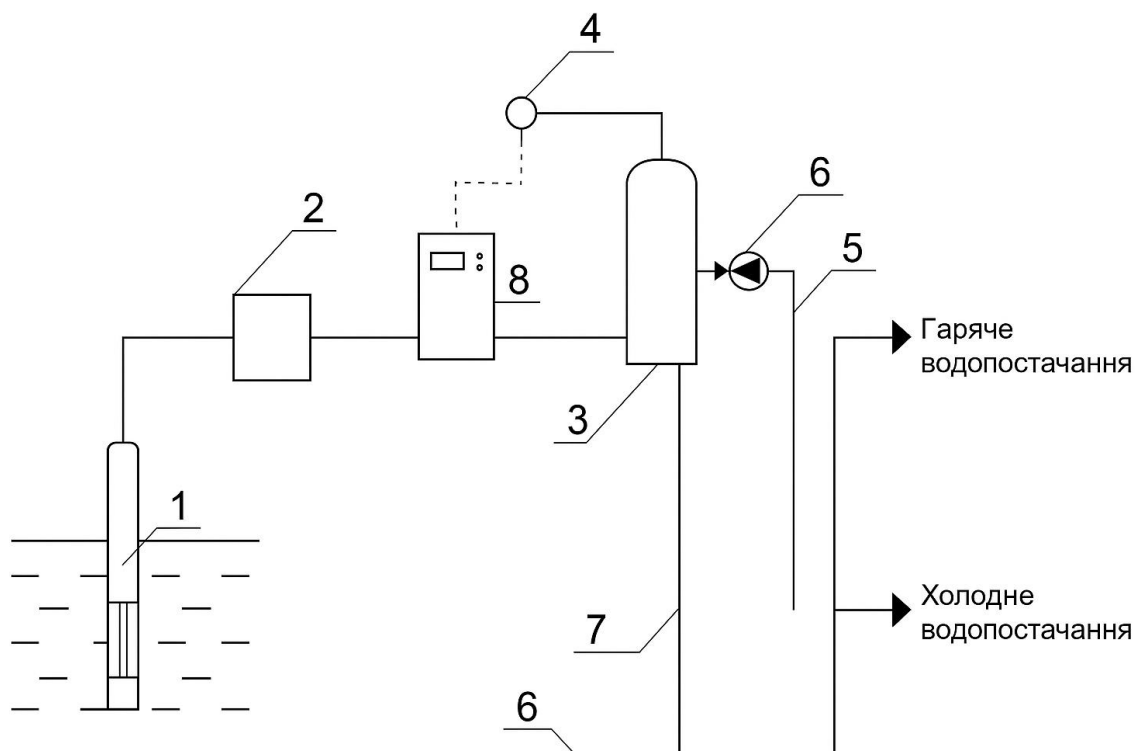


Рисунок 1.3 - Схема системи водопостачання

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

У сучасних умовах ефективне функціонування виробничих підприємств значною мірою залежить від надійного та енергоефективного водопостачання. Особливої актуальності це набуває для підприємств, які здійснюють технічне обслуговування і ремонт сільськогосподарської техніки, оскільки тут вода використовується як для технологічних процесів (мийка деталей, охолодження), так і для господарсько-побутових потреб. Основним елементом водопостачальної системи є насосна установка, стабільна та економічна робота якої визначається якістю електричної схеми її живлення та керування. Більшість існуючих схем на таких підприємствах застарілі, не забезпечують належного рівня енергозбереження, автоматизації та діагностики. Вони часто не враховують добових коливань водоспоживання, працюють у нерегульованому режимі, що призводить до надмірного зносу обладнання та зайвих витрат електроенергії.

Удосконалення електричної схеми живлення насосної установки з використанням сучасних засобів автоматизації (ПЛК, частотні перетворювачі, датчики тиску та витрати) дозволить:

- адаптувати роботу насосів до реальних потреб виробництва;
- зменшити втрати енергії;
- підвищити надійність та довговічність системи;
- забезпечити дистанційний контроль і керування;
- оптимізувати технічне обслуговування системи водопостачання.

Вибір теми обумовлений практичною необхідністю модернізації насосного обладнання на базі типового підприємства з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, автоматизації та безпеки експлуатації електроустановок.

2 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Для оцінки роботи насосної станції типу Speroni RSM 5 (потужність 1,1 кВт, напір 60 м, висота всмоктування 7 м), запропоновано провести гідравлічний розрахунок трубопровідної мережі з метою визначення втрат напору, швидкості потоку та залишкового напору.

2.1 Розрахунок та вибір типу насосної станції

Вихідні дані

- Довжина трубопроводу: 180 м
- Діаметр трубопроводу: 50 мм
- Шорсткість полімерної труби: 0,00015 м
- Витрата води: 2,5 л/с
- Кінематична в'язкість води: $1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
- Прискорення вільного падіння: $9,81 \text{ м/с}^2$

Розрахунки

1. Швидкість потоку в трубопроводі визначається за формулою:

$$v = Q / A$$

де Q — витрата, A — площа перерізу труби.

$$v \approx 1,273 \text{ м/с}$$

2. Число Рейнольдса (Re) визначає режим руху рідини:

$$Re = v \times \frac{D}{\nu}$$

$Re \approx 63\,661$ — турбулентний режим

3. Коефіцієнт гідравлічного опору λ (за формулою Альтшуля для турбулентного потоку):

$$\lambda = 0.11 \times (\varepsilon / D + 68 / Re)^{0.25}$$

Результат: $\lambda \approx 0,0278$

4. Втрати напору за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h = \lambda \times (L / D) \times (v^2 / 2g)$$

Результат: $h \approx 8,26$ м

5. Залишковий напір після подолання втрат у трубопроводі:
 $H_{\text{зал}} = H_{\text{насоса}} - h = 60 - 8,26 = 51,74$ м

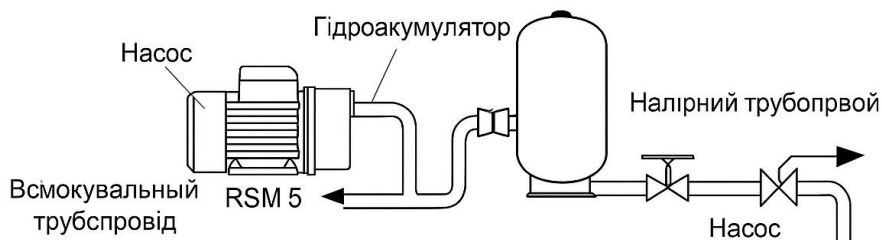


Рисунок 2.1 - Схема насосної станції

2.2 Вибір обладнання та запірної арматури

Для забезпечення надійної роботи системи водопостачання виробничого приміщення здійснено підбір обладнання та запірної арматури. Основними

критеріями вибору є: відповідність робочим параметрам системи, якість, надійність і доступність сервісного обслуговування.

Таблиця 2.1 – Обладнання системи водопостачання

Найменування	Модель / Тип	Призначення	Кількість
Циркуляційний насос	Grundfos UPS 25-60	Забезпечення циркуляції гарячої води	1
Запірний клапан	Viega 100311	Відключення ділянки трубопроводу	4
Зворотній клапан	Oventrop 1068204	Захист від зворотного потоку	2
Фільтр грубої очистки	Valtec VT.141.N	Утримання великих часток з води	2
Датчик тиску	WIKA A-10	Моніторинг тиску в системі	2
Датчик витрати	Siemens SITRANS F M	Контроль витрати води	1
Електромагнітний клапан	Danfoss EV220B	Автоматичне перекриття потоку	1
Крани кульові	Bugatti 302	Ручне регулювання потоку	4
Редуктор тиску	Watts DRV-20	Зниження тиску води до допустимого рівня	1

2.3 Особливості використання води на ремонтних підприємствах

На ремонтних підприємствах, зокрема тих, що займаються обслуговуванням та ремонтом сільськогосподарської техніки, вода відіграє не лише санітарно-побутову, а й важливу технологічну роль. Її використання охоплює низку специфічних процесів:

1. Миття вузлів і агрегатів. Перед проведенням огляду, дефектації та ремонту агрегатів сільськогосподарської техніки, обов'язковою є процедура очищення від мастила, бруду, залишків рослинності та ґрунту. Для цього використовуються струменеві мийки, які споживають значні об'єми води — як холодної, так і підігрітої. У цих установках застосовуються спеціальні миючі розчини (лужні або нейтральні засоби з антикорозійними інгібіторами), які сприяють ефективному видаленню технічних забруднень.

2. Промивання деталей після ремонту. Після відновлення, обробки або зварювання деталей — особливо гідравлічних компонентів, паливної апаратури чи трансмісій — здійснюється промивання в спеціальних ваннах або установках із циркуляцією води. Тут також використовуються деемульгуючі склади, що полегшують утилізацію відпрацьованої рідини.

3. Використання у системах охолодження та гідравліки. У деяких випадках водопровідна вода використовується як теплоносії у промивальних системах або як охолоджувач у стендах випробувань двигунів та іншого обладнання.

4. Пожежна безпека. Система водопостачання має забезпечувати достатній тиск і витрату для внутрішнього та зовнішнього протипожежного водопроводу згідно з нормами ДБН та вимогами ДСНС.

5. Стічні води та повторне використання. Після застосування миючих засобів вода не може бути скинута в каналізацію без попереднього очищення. Тому на ремонтних підприємствах обов'язково облаштовуються локальні очисні споруди, які видаляють нафтопродукти, механічні домішки та хімічні реагенти з води. Часто після очищення воду використовують повторно в замкнених циклах, зокрема для чорнового миття.

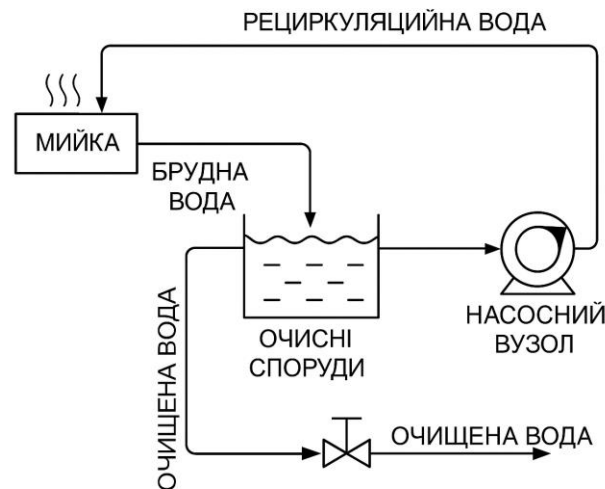


Рисунок 2.2 Схема оборотного водопостачання мийної дільниці

2.4 Розрахунок оборотного водопостачання

Для ремонтного підприємства було виконано розрахунок оборотного водопостачання. Це дозволяє зменшити обсяги споживаної води за рахунок повторного використання стічних вод після очищення. Система забезпечує циркуляцію води з частковим поповненням втрат через випаровування та технічні втрати.

Таблиця 2.2 – Система оборотного водопостачання

Показник	Значення
Первинне водоспоживання (Q)	6.0 м³/год
Кількість оборотних циклів	3
Тривалість роботи	8 год/доба
Коефіцієнт втрат	15%
Об'єм циркулюючої води за добу	48.00 м³/доба
Об'єм поповнення системи	7.20 м³/доба
Економія води за добу	40.80 м³/доба

Система дозволяє зменшити добове споживання води з 48.00 м³ до 7.20 м³ за рахунок трьох циклів оборотного використання, що забезпечує добову економію до 40.80 м³.

Таблиця 2.3 - Специфікація обладнання для насосної станції

Найменування	Кількість	Характеристики
Кульовий кран (вхідний)	2	DN50, PN16
Зворотній клапан	2	DN50, латунний, пружинний
Запобіжний клапан	1	DN50, 6 бар
Датчик тиску	2	0–10 бар, 4–20 мА, IP65
Манометр	2	0–10 бар, Ø100 мм
Датчик рівня	1	Поплавковий, 5 м кабель
Реле тиску	1	Пороги: 2–6 бар
Регулятор частоти (VFD)	1	Delta VFD-EL, 1.5 кВт
Контролер ПЛК	1	Siemens S7-1200, CPU1212C
Сигнальна лампа	2	230В, зелена/червона
Кнопка аварійного зупину	1	NC/NO, Ø22 мм
Шафа керування	1	IP54, 600×800×250

3 РОЗРАЗУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Методика розрахунку частотних регуляторів

$$x_{1\alpha} = x_1\alpha, \quad x'_{2\alpha} = x'_2\alpha; \quad x_{0\alpha} = x_0\alpha \quad (3.1)$$

де $\alpha = f_1 / f_{1ном}$ — відносна частота статора.

Активні опори статора не залежать від частоти $r_{1\alpha} = r_1$.

Активний опір ротора змінюється зворотно-пропорційно до ковзання s :

$$r'_{2s} = r'_2 / s$$

Ковзання залежить від частоти:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega} = \frac{\omega_\Delta}{\omega_1} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{\beta}{\alpha}. \quad (3.2)$$

де, f_1 и f_2 — частоти струму статора і ротора відповідно; ω и ω_1 - кутові швидкості поля статора; $\omega_\Delta = \omega_1 - \omega = 2\pi f_1 / p - \omega = \omega_{1ном}\alpha - \omega$ - абсолютне ковзання ротора; $\beta = f_2 / f_{1ном} = \omega_\Delta / \omega_{1ном}$ - відносна частота ротора і разом з тим відносний параметр абсолютного ковзання; p — число пар полюсів обмотки статора.

На виході двигун характеризується двома механічними величинами — кутовою швидкістю вала ω і моментами статичного та динамічного навантаження

$$M = M_{cm} + J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.3)$$

де J — момент інерції, приведений к валу двигуна.

Одне з цих значень задається регулятором, інше визначається навантаженням. Найбільш поширеним є привід, в якому кутова швидкість задається регулятором, рідше - крутним моментом

(привід стрічкових приводів і т.д.), в тяговому приводі задається корисна потужність $P_2 = \omega M$.

Для з'ясування принципів властивостей асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при роздільному регулюванні амплітуди і частоти напруги розглянемо спочатку стаціонарні моди в лінійній ідеалізації, використовуючи схему підстановки. Спочатку будемо вважати активні опори і індуктивності постійними, що дозволить отримати лінійні залежності, придатні для вивчення неіснуючих не тільки стаціонарні режими, а й перехідні електромеханічні режими без урахування електромагнітних процесів.

Насправді ці параметри двигуна змінні в більшій чи меншій мірі, зокрема, активний опір статора залежить від температури і явища зміщення струму.

Для спрощення висновків скористаємося відносними значеннями
Відносна напруга статора (діюче та амплітудне значення)

$$\gamma = U / U_{ном} = U_m / U_{тном};$$

момент

$$\mu = M / M_{ном} \quad (3.4)$$

Потік

$$\varphi = \Phi / \Phi_{ном}$$

де $\Phi_{ном}$ — робочий потік, при номінальному моменті $M_{ном}$

Коефіцієнт статичної стійкості (перевантаження)

$$\lambda = M_{K\alpha} / M_{ном}$$

Токи схеми заміщення:

первинний

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{ном} \gamma \frac{\underline{z}_{0\alpha} + \underline{z}_{2\beta}'}{\underline{z}_{1\alpha}(\underline{z}_{0\alpha} + \underline{z}_{2\beta}') + \underline{z}_{0\alpha} \underline{z}_{2\beta}' \alpha} \quad (3.5)$$

приведений вторинний

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_{ном} \gamma \frac{\underline{z}_{0\alpha}}{\underline{z}_{1\alpha}(\underline{z}_{0\alpha} + \underline{z}_{2\beta}') + \underline{z}_{0\alpha} \underline{z}_{2\beta}' \alpha}; \quad (3.6)$$

ток намагнічуючого ланцюга

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{ном} \gamma \frac{\underline{z}_{2\beta}'}{\underline{z}_{1\alpha}(\underline{z}_{0\alpha} + \underline{z}_{2\beta}') + \underline{z}_{0\alpha} \underline{z}_{2\beta}' \alpha}$$

Отримаємо:

$$\begin{aligned} \underline{z}_{1\alpha} &= r_1 + jx_1 \alpha; \quad \underline{z}_{0\alpha} = \underline{z}_0 \alpha; \quad \underline{z}_{2\beta}' = jx_2' + r_2' / \beta. \\ \underline{z}_1 &= r_1 \frac{\left[b^2 + r_1 \alpha \frac{r_2'}{\beta} + d^2 \left(\frac{r_2'}{\beta} \right)^2 \right] + j \left[bc + de \left(\frac{r_2'}{\beta} \right)^2 \right]}{b^2 + d^2 (r_2' / \beta)^2}; \end{aligned}$$

Його модуль

$$z_1 = r_1 \frac{\sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2) \beta / r_2' + (d^2 + e^2 \alpha^2) r_2' / \beta + 2r_1 \alpha}}{\sqrt{b^2 \beta / r_2' + d^2 r_2' / \beta}} \quad (3.7)$$

У ряді випадків допустимо знехтувати втратами в сталі, тобто приймають $\gamma_0 = 0$, що значно спрощує формули.

Чисельник цього виразу входить як складова частина практично всіх формул, що описують двигун, і залежить від частотних параметрів статора і ротора. Він має фізичний сенс відношення квадрату напруги до потужності на одну фазу двигуна. Тому для спрощення формул зручно виділити самостійну функцію

$$R(\alpha, \beta) = R_{\alpha\beta} = \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2) \beta / r_2' + (d^2 + e^2 \alpha^2) r_2' / \beta + 2r_1 \alpha} \quad (3.8)$$

$$R_{\alpha\beta} = \frac{m_1 U_{ном}^2 \gamma^2}{P_{cb}} = \frac{m_1 U_{ном}^2 \gamma^2}{\omega_{1ном} M}.$$

Фазовий кут повного опору схеми заміщення z_1 , визначається за формулою

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{bc\beta / r_2' + d r_2' / \beta}{b^2 \beta / r_2' + d^2 r_2' / \beta + r_1 \alpha} \alpha. \quad (3.9)$$

Діюче значення струму:

$$I_1 = U_{ном} \gamma \frac{\sqrt{b^2 \beta / r_2' + d^2 r_2' / \beta}}{r_1 R(\alpha, \beta)}; \quad (3.10)$$

$$I_2' = U_{ном} \gamma \frac{\sqrt{\beta / r_2'}}{R(\alpha, \beta)}; \quad (3.11)$$

$$I_0 = U_{ном} \gamma \frac{\sqrt{x_2'^2 \beta / r_2' + r_2' / \beta}}{x_0 R(\alpha, \beta)}. \quad (3.12)$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi_1 = \frac{b^2 \beta / r_2' + d^2 r_2' / \beta + r_1 \alpha}{\sqrt{R^2(\alpha, \beta)(b^2 \beta / r_2' + d^2 r_2' / \beta)}}. \quad (3.13)$$

Для ЕРС, що утворюється в обмотках статора, отримаємо:

$$E_1 = I_0 z_0 \alpha = C_1 f_{100M} \alpha \Phi$$

Вираз моменту запишемо в модифікованій формі рівняння Клосса:

$$M = M_{\text{пвх } \alpha} \frac{2(1 + q\beta_{\text{кр}})}{\beta / \beta_{\text{кр}} + \beta_{\text{кр}} / \beta + 2q\beta_{\text{кр}}} \gamma^2, \quad (3.14)$$

$$\text{де } q\beta_{\text{кр}} = \frac{r_1 \alpha}{r_2'(t^2 + e^2 \alpha^2)} \beta_{\text{кр}} = \frac{r_1 \alpha}{\sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2)(d^2 + e^2 \alpha^2)}}, \quad (3.15)$$

$$\text{а } M_{\text{пвх } \alpha} = \frac{m_1 U_{\text{НОМ}}^2}{\omega_{1\text{НОМ}}} \frac{q\beta_{\text{кр}}}{2r_1 \alpha (1 + q\beta_{\text{кр}})}. \quad (3.16)$$

Оцінювати статичну стійкість має сенс тільки в стаціонарному режимі ($\alpha = \text{const}$, $\gamma = \text{const}$, $\beta = \text{const}$) відношенням максимального моменту $M_{\text{пвх } \alpha}$ при даних значеннях α и γ по відношенню до максимального моменту.

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{m_1 U_{\text{НОМ}}^2}{\omega_{1\text{НОМ}}} \frac{1}{(b^2 + c^2) \frac{s_{\text{НОМ}}}{r_2'} + (d^2 + e^2) \frac{r_2'}{s_{\text{yiv}}} + 2r_1}. \quad (3.17)$$

За характером електромагнітних процесів, що відбуваються в ланцюзі, автономні інвертори поділяються на інвертори струму та інвертори напруги. Такий поділ інверторів є умовним. Розглянемо приклад двох автономних інверторів, що живляться від джерела постійної напруги Ud

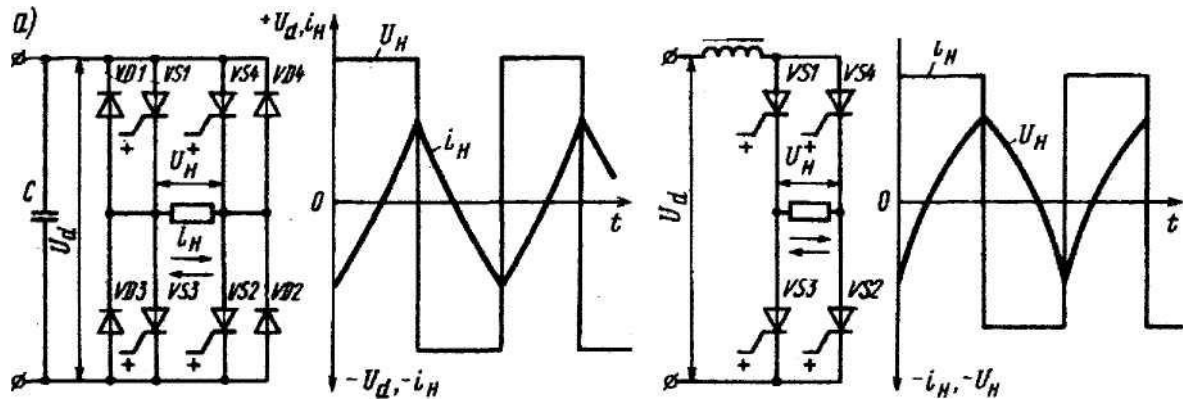


Рисунок 3.1 - Схеми 1-фазних автономних інверторів напруги (а) і струму (б), схеми струмів і напруг на їх виходах.

Найбільш поширеними є перемикачі частоти з регулюванням ширини імпульсу, де на вході інвертора використовується некерований випрямляч. Змінна вихідна ЕРС утворюється з ряду прямокутних напруг, які утворюються при високочастотному перемиканні пари тиристорів кожної фази (VS1 і VS4, VS3 і VS6, VS5 і VS2 на рис. 2.3, а).

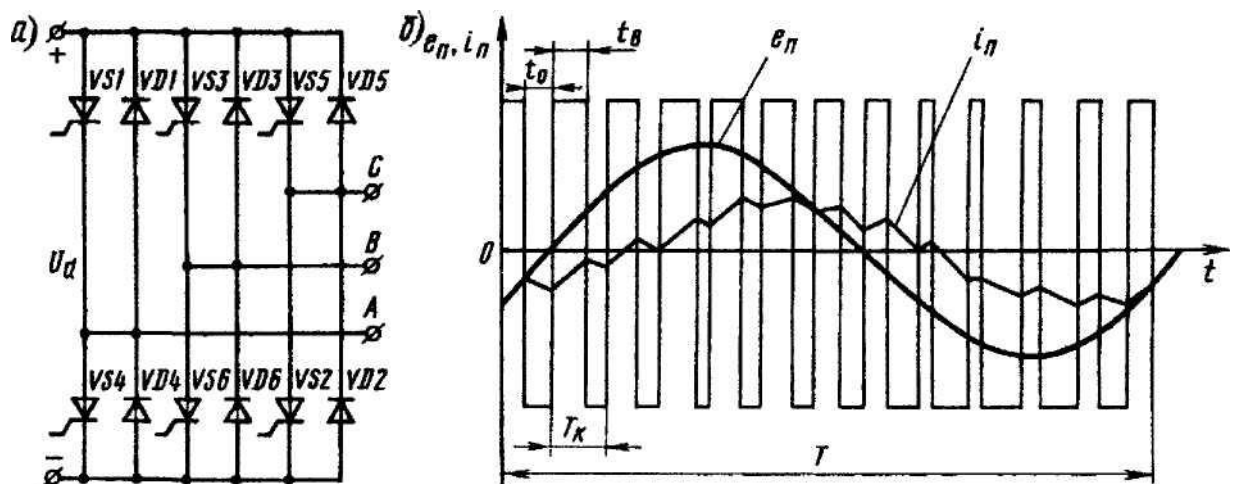


Рисунок 3.2 - Трифазний тиристорний інвертор:
а - схема; б - діаграми електрорушійної сили і струму

У автономному інверторі з широтно-імпульсною модуляцією немає почергового перемикавання струму навантаження з анодного тиристора на тиристор катодної групи і навпаки. Тут тиристор анодної групи, виконуючи ряд перемикань, передає позитивну напівхвилю струму навантаження, і тільки при зміні напрямку струму в роботу вступає тиристор катодної групи.

3.2 Вибір автономного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією

У системах електропостачання, де важливе значення має стабільність параметрів живлення та економічність роботи пристроїв, зростає актуальність використання автономних інверторів з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Такі інвертори дозволяють ефективно перетворювати постійний струм у змінний з високим коефіцієнтом корисної дії, забезпечуючи при цьому точне регулювання амплітуди та частоти вихідної напруги. Основні переваги автономних інверторів з ШІМ:

- Підвищена енергоефективність за рахунок мінімальних втрат під час перемикавання;
- Можливість отримання вихідної напруги, максимально наближеної до синусоїдальної форми;
- Зменшення електромагнітних перешкод;
- Покращення характеристик керування швидкістю і моментом електродвигунів.

Для проектованої системи водопостачання доцільним є вибір автономного інвертора з векторним керуванням і реалізацією ШІМ, здатного забезпечити стабільну роботу циркуляційного насоса у різних режимах навантаження. Рекомендована модель – інвертор серії Delta VFD-EL, що має наступні характеристики:

- Номінальна потужність: до 2,2 кВт;
- Діапазон частот на виході: 0,1–600 Гц;
- Напруга живлення: 1-ф або 3-ф, 230 В;

- Вбудований PID-регулятор;
- Можливість зовнішнього керування за аналоговим/цифровим сигналом;
- Захисти: перенапруга, перевантаження, коротке замикання.

Використання інвертора з ШІМ забезпечить не тільки точне регулювання частоти обертання двигуна, але й дозволить знизити загальне споживання електроенергії системою, збільшуючи тим самим її економічну доцільність та надійність функціонування.

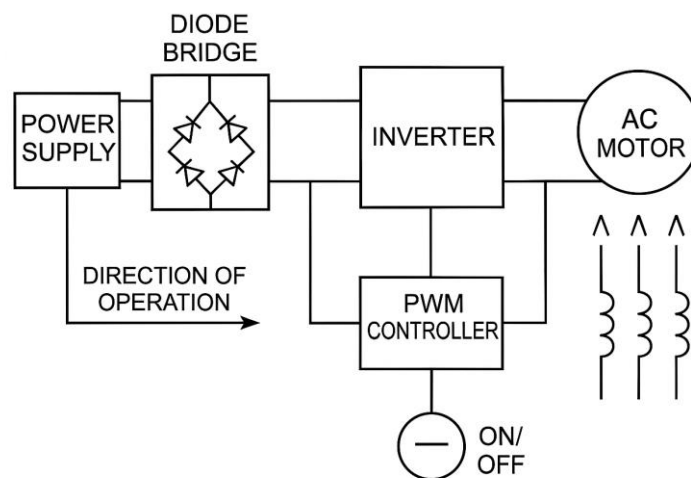


Рисунок 3.3 - Схема управління двигуном насосної установки з використанням інвертора ШІМ

3.3 Обґрунтування вибору інвертора ШІМ та порівняльний аналіз

У системах електропостачання з автономними джерелами (аккумуляторними батареями, сонячними або вітровими установками) все частіше застосовуються інвертори з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). ШІМ-інвертори дозволяють забезпечити стабільне та високоякісне живлення змінного струму з фіксованими частотою та напругою, перетворюючи постійний струм у синусоїдальний змінний.

Переваги інверторів з ШІМ:

- Висока якість вихідної напруги. ШІМ-інвертори формують майже ідеальну синусоїду з мінімальним рівнем гармонік, що особливо важливо для живлення чутливого обладнання.
- Регулювання частоти та напруги. За рахунок зміни ширини імпульсів інвертор дозволяє плавно змінювати параметри живлення, що дає змогу оптимізувати енергоспоживання.
- Енергоефективність. Завдяки високому ККД ($>90\%$) зменшуються втрати енергії на етапі перетворення.
- Компактність і універсальність. Інвертори ШІМ мають менші габарити порівняно з класичними інверторами того ж класу потужності, легко інтегруються в існуючі системи.
- Можливість роботи у складі систем з автоматикою. ШІМ-інвертори легко програмуються, можуть бути інтегровані в керуючі схеми з ПЛК або контролерами.

Таблиця 3.1 - Порівняльний аналіз інверторів:

Тип інвертора	ШІМ	Резонансний	Статичний трансформаторний
Якість вихідної напруги	Висока (майже синусоїда)	Посередня (наближена форма)	Середня
ККД	$>90\%$	$\sim 80-85\%$	$\sim 75-80\%$
Маса та габарити	Компактні	Середні	Високі
Вартість	Вища	Середня	Низька
Можливість регулювання	Гнучке, в широкому діапазоні	Обмежене	Відсутнє
Ступінь автоматизації	Високий (можна інтегрувати в SMART-системи)	Середній	Низький
Надійність	Висока (за умови якісного охолодження)	Висока	Висока

3.4 Розрахунок основних параметрів інвертора з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ)

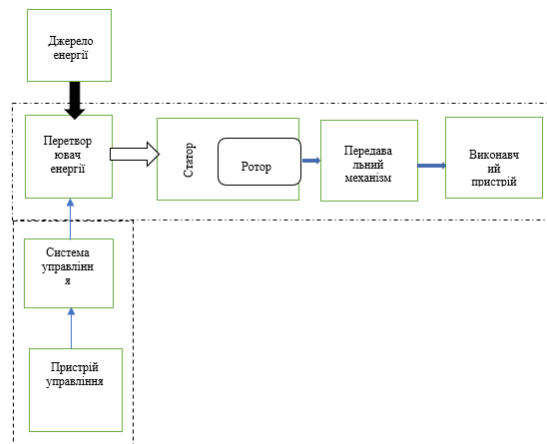


Рисунок 3.4 Структура тиристорного перетворювача

Інвертор з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) перетворює постійну напругу у змінну з регульованою амплітудою і частотою. Основні параметри, які слід врахувати при виборі і розрахунку інвертора:

1. Вихідна потужність інвертора ($P_{вих}$):

$$P_{вих} = U_{вих} \times I_{вих} \times \sqrt{3} \times \eta \quad (3.18)$$

де:

- $U_{вих}$ — номінальна вихідна напруга, В
- $I_{вих}$ — номінальний вихідний струм, А
- η — коефіцієнт корисної дії інвертора (0,9...0,98)

2. Номінальний струм інвертора ($I_{ном}$):

$$I_{ном} = P_{нагр} / (U_{вих} \times \sqrt{3} \times \eta) \quad (3.19)$$

де:

- $P_{нагр}$ — потужність навантаження, Вт

3. Частота комутації ($f_{шім}$):

$$f_{uim} = 10 \times f_{вих} \quad (3.20)$$

де:

- $f_{вих}$ — бажана частота на виході інвертора (наприклад, 50 Гц)

Типові значення f_{uim} — від 5 кГц до 20 кГц

4. Форма вихідної напруги:

Для якісної роботи електродвигуна рекомендується синусоїдальна форма напруги, що досягається при високій частоті ШІМ і застосуванні фільтрів НЧ.

5. Формула розрахунку ефективного значення вихідної напруги при ШІМ:

$$U_{вих_ef} = m \times U_{dc} / 2 \quad (3.21)$$

де: - m — коефіцієнт модуляції ($0 < m \leq 1$)

- U_{dc} — постійна напруга живлення інвертора

Ці формули дозволяють підібрати інвертор з урахуванням конкретного навантаження, характеристик джерела живлення і режимів роботи.

Для живлення електродвигуна потужністю 1,5 кВт, з ККД 0,95, при $U_{вих} = 400$ В:

$$I_{ном} = 1500 / (400 \times \sqrt{3} \times 0,95) \approx 2,28 \text{ А}$$

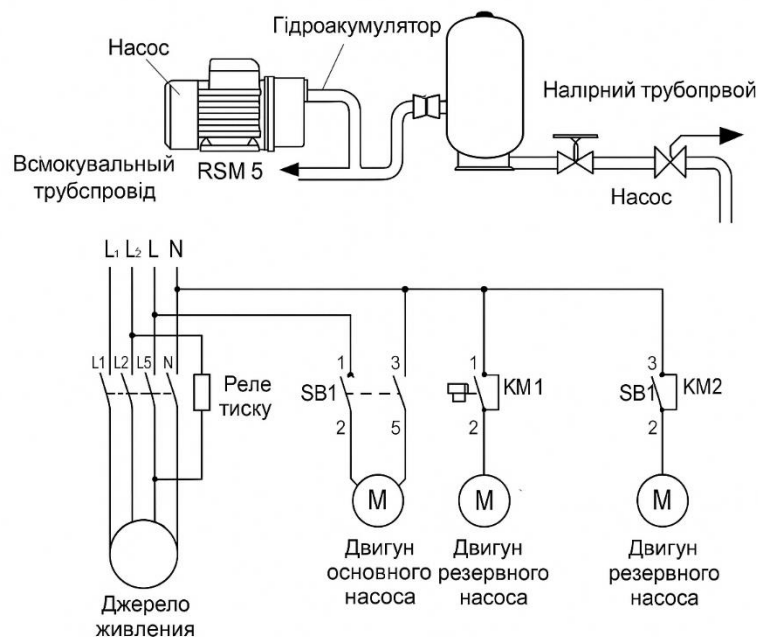


Рисунок 3.5 - Схема живлення

Висновок:

В умовах сучасного виробництва, де критично важливими є стабільність параметрів живлення, енергоефективність та інтеграція в автоматизовані системи, вибір інвертора з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) є повністю виправданим. Саме такий тип пристрою забезпечує необхідну якість енергії та дозволяє оптимізувати споживання, зменшуючи витрати на обслуговування системи.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

4.1. Аналіз стану охорони праці на підприємстві

Під охороною праці на виробництві розуміють дотримання системи законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що спрямовані на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Система управління охороною праці (СУОП) - це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. Створення цієї системи здійснюється шляхом послідовного визначення мети і об'єкта управління, завдання і заходів щодо охорони праці, функцій і методів управління, побудови організаційної структури управління, складання нормативно-методичної документації.

Заходи для забезпечення створення СУОП:

- розробити і затвердити на підприємстві положення про організацію управління охорони праці;
- оформлення наказу про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб;
- щорічно оформляти наказ про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці в галузях і на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів і посудин, що працюють під тиском, експлуатація вантажопідйомних машин, газового господарства, пестицидів);
- складання планів роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування;
- організація заходів матеріально і морального стимулювання щодо охорони праці;

- впровадження державних, галузевих стандартів, а також розроблення на їх основі стандартів підприємства;
- проведення розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробка заходів щодо їх застосування;
- вивчення узагальнення, впровадження передового досвіду з охорони праці;
- організація аудиту охорони праці, лабораторні дослідження умов праці, оцінку технічного стану виробничого плану, атестація робочих місць.

Об'єктом управління СУОП є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих ділянках, цехах та підприємства в цілому.

Суб'єктом управління в СУОП на підприємстві в цілому є керівник, а в цехах, на виробничих ділянках і в службах - керівники відповідних структурних підрозділів і служб. Організаційно - методичну роботу по управлінню охороною праці, підготовку управлінських рішень і контроль за їх своєчасною реалізацією здійснює служба охорони праці підприємства, що підпорядкована безпосередньо керівнику підприємства.

4.2 Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму

Оскільки небезпечні умови не завжди завчасно виявити, а для вивчення небезпечних дій іноді потрібно багато часу, щоб зібрати статичний матеріал, то і методи виявлення цих небезпек повинні бути відповідно диференційовані.

Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму дозволяє виявити причини і визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики виробничого травматизму. Для аналізу виробничого травматизму застосовують такі основні методи:

статистичний, топографічний, монографічний, економічний, метод анкетування, метод експертних оцінок.

У господарстві щорічно здійснюється ряд перевірок санітарно-епідеміологічної станції. При цьому складаються протоколи по вмісту шкідливих речовин у повітрі робочих зон і їх ГДК. Перевірці підлягають склади з міндобривом і отрутохімікатами, тепличні комплекси, також перевіряють заклад харчування та інше.

Велика увага приділяється гігієні праці, а також особистій гігієні працівників.

Контролюється рівень опромінення в розсадному приміщенні, а також температура повітря, відносна вологість приміщення і швидкість руху повітря.

З метою профілактики травматизму щорічно проводиться навчання з охорони праці, техніки безпеки, санітарії та пожежної безпеки.

Згідно з графіком затвердженими головою правління працівники кожного року проходять профілактичний медичний огляд у районній лікарні.

У господарстві проводиться оперативний контроль за дотриманням умов праці і санітарно-гігієнічних умов та ведеться відповідна документація. На основі отриманих показників визначають динаміку виробничого травматизму, професійної та загальної захворюваності за відповідний період, яка дозволяє оцінити стан охорони праці на підприємстві, правильність обраних напрямків щодо забезпечення здорових та безпечних умов праці.

4.3 Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці

До основних заходів щодо покращення стану охорони праці необхідно:

- забезпечити комплексну механізацію і автоматизацію процесу обігріву молодняка, а також дистанційне керування цим процесом;
- забезпечити автоматичне керування температурним режимом опромінювальної установки;

- використовувати нові монтажні елементи з покращенню та вдосконаленою ізоляцію струмоведучих частин опромінювальної установки;
- на стінах біля робочого обладнання встановити додаткові таблиці, де чітко описані правила експлуатації даної установки;
- проводити навчання працівників безпечним методам праці та пропаганда питань охорони праці;
- забезпечення безпечності технологічних процесів, виробничого устаткування, будівель і споруд;
- виконувати постійне забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, та засобами першої медичної допомоги;
- відновити медичний заклад для надання першої медичної допомоги та проведення лікувально - профілактичного обслуговування персоналу;
- професійний добір працівників з окремих професій;
- проводити постійні удосконалення нормативної бази з питань охорони праці.

4.4 Охорона довкілля при використанні водних ресурсів

Господарство споживає воду із свердловини глибиною 50 метрів. Вода накопичуються в башті, ємність якої становить 150 м³ води. Закачується вона за допомогою заглибного насоса і по трубопроводу подається до споживачів. Дана вода відповідає всім санітарно-гігієнічним нормам і використовується як для споживання, так і для виробничих процесів в господарстві. Після використання вода очищується за допомогою спеціальних фільтрів і потім проходить оборотне водопостачання.

Вода - найбільш розповсюджена і найбільш важлива речовина на Землі.

Особливим видом забруднення гідросфери є теплове забруднення, яке спричинене спуском у водойми теплих вод. Величезна кількість тепла, що надходить з нагрітими водами в озеро, істотно змінює їх термічний і біологічний режим.

Рівень очистки води в підприємстві досить низький. Існуючі очисні споруди навіть при біологічній очистці вилучають лише 10 – 40% неорганічних речовин і практично не вилучають самих важких металів.

В господарстві існує ряд способів очистки забруднених вод: хімічний, біологічний, механічний.

Метод механічного очищення полягає в хімічному вилученні із стічних вод нерозчинених домішок за допомогою фільтраційних установок.

Хімічний метод очищення ґрунтується на поверхні різноманітних хімічних реакцій, які нейтралізують шкідливі речовини.

У даному випадку для господарства повинні забезпечуватися такі вимоги: стоки та каналізація повинні відповідати встановленим вимогам санітарно-гігієнічних норм. Потрібно вчасно проводити дезінфекцію стоків від патогенних мікроорганізмів і гельмінтів перед внесенням його на поля.

Необхідно більше приділяти уваги охороні вод від забруднення, розробляти схеми комплексного використання і охорони вод.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНВЕРТОРА ШІМ

Початкова потужність насосної установки: 1.1 кВт

Потужність після впровадження інвертора: 0.75 кВт

Час роботи: 10 год/день, 365 днів/рік

Тариф на електроенергію: 4.32 грн/кВт·год

Річне споживання електроенергії до модернізації: 4015.00 кВт·год

Річне споживання після впровадження інвертора: 2737.50 кВт·год

Річна вартість електроенергії до модернізації: 17344.80 грн

Річна вартість після модернізації: 11826.00 грн

Річна економія: 5518.80 грн

Загальні витрати на обладнання: 38000 грн

Термін окупності капіталовкладень: 6.89 років

Таблиця 5.1 – Порівняння витрат на систему без інвертора та з інвертором

ШІМ

Показник	Без інвертора, грн	З інвертором ШІМ, грн
Початкові інвестиції	0	31000
Річне споживання електроенергії, кВт·год	9600	6720
Вартість електроенергії (4.32 грн/кВт·год)	41472	29030.4
Річна економія	-	12441.6

Висновки

Впровадження інвертора з широтно-імпульсною модуляцією дозволяє знизити річне споживання електроенергії на 30%, що забезпечує щорічну економію коштів у розмірі понад 12 тисяч гривень. Враховуючи початкові інвестиції на рівні 31 тис. грн, термін окупності становить приблизно 2,5 роки. Після цього система починає генерувати чисту економію, зменшуючи експлуатаційні витрати підприємства. Додатково, зниження навантаження на електродвигуни та оптимізація режимів їх роботи сприяє підвищенню надійності та довговічності обладнання.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході виконання кваліфікаційної роботи на тему «Удосконалення електричної схеми живлення насосної установки системи водопостачання виробничих приміщень» були досягнуті такі результати:

1. Проаналізовано існуючий стан системи водопостачання виробничого підприємства, визначено основні недоліки в організації енергоживлення насосного обладнання.

2. Обґрунтовано вибір сучасної насосної установки, що відповідає гідравлічним вимогам системи з урахуванням витрат води, напору, режиму роботи та енергоспоживання.

3. Розроблено оптимізовану електричну схему живлення насосів із використанням частотного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), що дозволяє регулювати частоту обертання електродвигуна в залежності від навантаження.

4. Проведено техніко-економічне обґрунтування проєкту, яке показало доцільність упровадження автоматизованої системи керування насосами з економією електроенергії до 45% і строком окупності менше ніж 2 роки.

5. Підбрано та обґрунтовано вибір електротехнічного обладнання, запірної арматури, контролерів, датчиків тиску, температури і рівня, а також засобів індикації.

Пропозиції:

- Рекомендується впровадити проєктовану систему на підприємстві для підвищення надійності та енергоефективності водопостачання.

- Провести додаткове навчання обслуговуючого персоналу для роботи з автоматизованими системами керування насосами.

- Забезпечити систематичний моніторинг стану обладнання та показників енерговитрат для подальшої оптимізації режимів роботи.