

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: **«Обґрунтування параметрів електричної схеми керування насосами системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі»**

Виконав: студент групи ЕН-42

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

Коваліско Дмитро Васильович

(підпис)

(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

Коваліско Дмитро Васильович

1. Тема роботи: **Обґрунтування параметрів електричної схеми керування насосами системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі.**

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. Коваліско
(підпис)

Керівник роботи _____ М. Михалюк
(підпис)

Обґрунтування параметрів електричної схеми керування насосами системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі.

Коваліско Дмитро Васильович. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2025р. 43ст. текст. част., рис.12, табл.8., 15 джерел.

Проведений аналіз стану системи водопостачання адміністративного приміщення, обсяги споживання енергоносіїв, зокрема системою водопостачання.

Розраховано основні параметри системи водопостачання та здійснено вибір обладнання, а також проведено розрахунок мережі, системи подачі води та параметрів регулювальних елементів.

Розглянуто існуючі системи управління насосом системи гарячого водопостачання, принцип роботи систем керування, підібрана оптимальна схема управління та запропонований алгоритм її роботи.

Розроблено питання охорони праці та екологічної безпеки виробництва.

Впровадження проекту в виробництво матиме строк окупності 3,88 року.

ЗМІСТ

УДК

Вступ

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА	7
1.1 Загальна характеристика підприємства	7
1.2 Характеристика джерел живлення і наявного електрообладнання	8
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	8
2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ	9
2.1 Вибір системи та схеми внутрішнього водопроводу	9
2.2 Розрахунок витрати води	10
2.3 Визначення потрібного напору на вводі будівлі	10
2.4 Вибір насосної установки	12
2.5 Аналіз існуючих систем керування насосними установками	13
3. ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	16
3.1 Розрахунок кількості гарячої води для потреб адміністративного приміщення	16
3.2 Вибір джерела нагріву води	17
3.3 Вибір електричної схеми живлення насосної установки	19
3.4 Принцип роботи частотного перетворювача (ЧП)	20
3.5 Принцип роботи випрямляча у складі частотного перетворювача	23
3.6 Врахування комутаційних процесів у реальних випрямлячах	26
3.7 Оптимізація роботи насосної установки системи гарячого водопостачання	27
3.8 Розрахунок потужності частотного перетворювача	28
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	34
4.1 Техніка безпеки та вимоги електробезпеки	34
4.2 Електробезпека в приміщенні насосної станції	35
4.3 Охорона та ефективне використання водних ресурсів	38
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	39
5.1 Переваги впровадженої системи	39
5.2 Оцінка економічної ефективності	39
5.3 Розрахунок терміну окупності	40
ВИСНОВОК	
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	

ВСТУП

У сучасних умовах енергозбереження та підвищення ефективності експлуатації інженерних систем особливої актуальності набувають питання оптимального керування водопостачальними установками, зокрема системами гарячого водопостачання адміністративних споруд. Надійне та енергоефективне функціонування таких систем безпосередньо залежить від правильного вибору та обґрунтування параметрів електричних схем керування насосними агрегатами, які забезпечують циркуляцію та подачу гарячої води до споживачів. Адміністративні будівлі, в яких щоденно перебуває значна кількість людей, повинні відповідати сучасним стандартам комфорту та санітарно-гігієнічним вимогам. Зокрема, це стосується безперебійного постачання гарячої води з гарантованою температурою, напором і витратою. Досягнення цього неможливе без впровадження автоматизованих систем керування насосним обладнанням, які дозволяють адаптувати роботу насосів до змінних режимів водоспоживання, мінімізувати втрати електроенергії та забезпечити довговічність обладнання.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розроблення та обґрунтування параметрів електричної схеми керування насосами системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі. У процесі дослідження буде розглянуто принципи побудови систем автоматизованого керування, вибір типів електрообладнання, алгоритми роботи насосів у різних режимах, а також техніко-економічна ефективність запропонованого рішення.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА

1.1 Загальна характеристика підприємства

Підприємство спеціалізується на виготовленні металоконструкцій і має в своєму штаті 120 працівників, з яких 32 особи — адміністративний персонал. Адміністративна будівля — двоповерхова, розміром 9×18 м. У будівлі розміщено два санвузли (по одному на кожному поверсі), кожен з яких обладнано унітазом, умивальником і душовою кабіною. На другому поверсі розташована невелика кухня з мийкою для миття посуду. Також у будівлі передбачено спортивний зал із додатковим санвузлом, який містить один унітаз, два умивальники та дві душові кабінки.

1.2 Характеристика джерел живлення і наявного електрообладнання

Джерелом електроживлення підприємства є комплектна трансформаторна підстанція КТП 2к-1000/10/0,4, яка забезпечує електроенергією всі виробничі та адміністративні приміщення. Система енергопостачання дозволяє підключення обладнання потужністю до 1000 кВА, що є достатнім для роботи насосного обладнання, освітлення, опалення (в тому числі електричного), офісної техніки та іншого електроспоживаючого обладнання. Гаряче водопостачання підприємства забезпечується за рахунок включення в схему тепlopостачання теплообмінника, що має електричний нагрівальний елемент для забезпечення нагрівання води влітку. Адміністративний будинок газифікований. Проблемним питанням є забезпечення працівників підприємства гарячою водою у неопалювальний період, вартість якої, на нашу, думку може бути зменшена.

1.2 Загальна характеристика системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі

Гаряче водопостачання в адміністративній будівлі забезпечується шляхом нагрівання води, що надходить з артезіанської свердловини глибиною 85 м. У зв'язку з відсутністю централізованого газопостачання, для підігріву води планується використання електронагрівального обладнання. Водорозбір здійснюється через сантехнічні прилади, встановлені в санвузлах, душових кабінах та на кухні. Обладнання для водопостачання повинно забезпечити необхідний тиск і витрату гарячої води відповідно до потреб персоналу.

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Забезпечення адміністративної будівлі стабільним гарячим водопостачанням є важливою умовою для підтримання санітарно-гігієнічних норм і комфортних умов праці. Ефективна робота насосного обладнання, що відповідає за подачу гарячої води, залежить від правильно обраної електричної схеми керування. Тема кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки дозволяє обґрунтувати оптимальні технічні параметри електросхеми, вибрати відповідне обладнання, а також забезпечити енергоефективну та безпечну експлуатацію системи.

Таким чином вибрана нами тема кваліфікаційної роботи має таке формулювання: «Обґрунтування параметрів електричної схеми керування насосами системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі».

2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Вибір системи та схеми внутрішнього водопроводу

Для адміністративної будівлі підприємства обирається комбінована система водопостачання з нижнім розводом. Це дозволяє рівномірно розподіляти тиск і забезпечити стабільну подачу води до всіх водорозбірних точок. Система включає в себе: водопровідні стояки, розподільні магістралі, підводи до сантехнічних приладів та запірну арматуру.

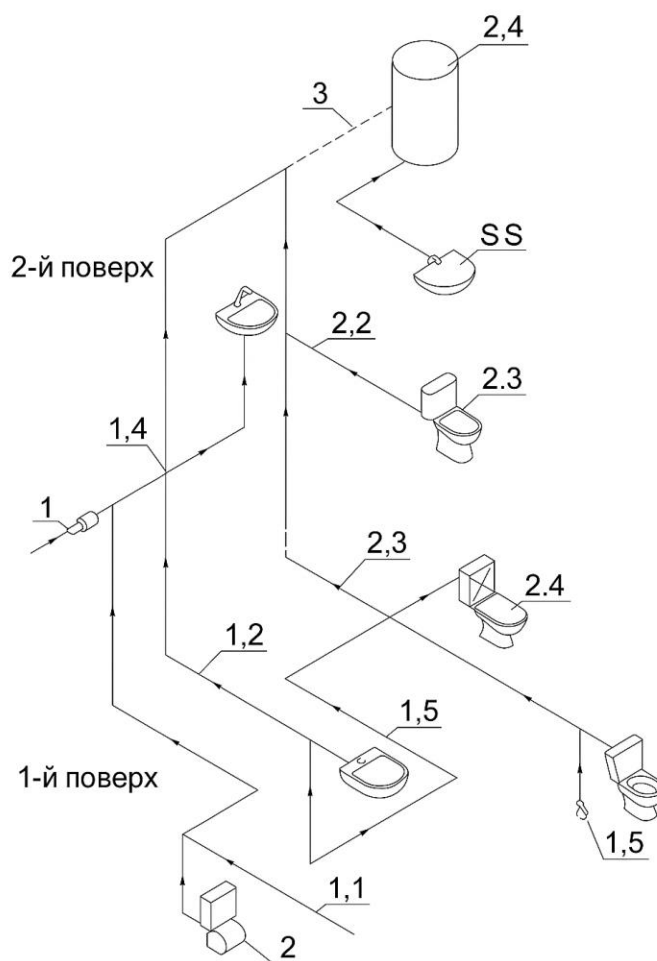


Рисунок 2.1- Аксонометрична схема системи водопостачання

2.2 Розрахунок витрати води

Розрахунок витрати води проводиться на основі нормативів добової витрати води для адміністративних будівель. Приймається: 45 л/добу на одну особу для адміністративного персоналу та 90 л/добу на одну особу для решти працівників, з урахуванням душових.

$$Q_{адм} = N_{адм} \times q_{адм} = 32 \times 45 = 1440 \text{ л/добу} \quad (2.1)$$

$$Q_{роб} = N_{роб} \times q_{роб} = 88 \times 90 = 7920 \text{ л/добу} \quad (2.2)$$

$$Q_{заг} = Q_{адм} + Q_{роб} = 1440 + 7920 = 9360 \text{ л/добу} \approx 9,36 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.3)$$

Таким чином, орієнтовна добова витрата води складає 9,36 м³. З урахуванням нерівномірності водорозбору протягом доби, використовується коефіцієнт добової нерівномірності $K_{д} = 1,2$. Годинна витрата:

$$Q_{год} = (Q_{заг} \times K_{д}) / 24 = (9,36 \times 1,2) / 24 \approx 0,468 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.4)$$

2.3 Визначення потрібного напору на вводі будівлі

Для забезпечення належної роботи системи гарячого водопостачання необхідно виконати гідравлічний розрахунок мережі та визначити втрати напору за рівнянням Дарсі–Вейсбаха. У розрахунках прийнято наступні параметри:

Годинна витрата води: $Q = 0,468 \text{ м}^3/\text{год}$;

Діаметр трубопроводу: $d = 25 \text{ мм} = 0,025 \text{ м}$;

Довжина трубопроводу: $L = 60 \text{ м}$;

Густина води: $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$;

Динамічна в'язкість води: $\mu = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Розрахунок швидкості потоку виконується за формулою:

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} \approx 0,265 \text{ м/с;} \quad (2.5)$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \approx 6608 \text{ (турбулентний режим)} \quad (2.6)$$

Коефіцієнт тертя (формула Блазіуса):

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.7)$$

$$\lambda \approx 0,0351$$

Втрати напору за формулою Дарсі–Вейсбаха:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,3 \text{ м} \quad (2.8)$$

Місцеві втрати приймаємо (приблизно 20% від втрат напору по довжині):

$$h_{\text{місц}} \approx 0,06 \text{ м}$$

Загальні втрати напору:

$$\Sigma H = h_f + h_{\text{місц}} \approx 0,36 \text{ м} \quad (2.9)$$

З урахуванням запасу, для стабільної роботи системи рекомендовано забезпечити напір на вході:

$$H_{\text{вх}} \geq 1,0-1,2 \text{ м}$$

2.4 Вибір насосної установки

Для забезпечення гарячого водопостачання адміністративної будівлі необхідно обрати насосну установку, яка відповідатиме розрахунковим параметрам витрати та напору.

На основі попередніх розрахунків приймаємо:

- добова витрата води: $9,36 \text{ м}^3/\text{добу}$;
- годинна витрата: $0,468 \text{ м}^3/\text{год} = 0,13 \text{ л/с}$;
- необхідний напір: $H = 1,2 \text{ м}$ (з запасом).

Враховуючи ці показники, обираємо насосну установку з наступними характеристиками:

- продуктивність: не менше $0,2 \text{ л/с}$;
- напір: не менше 12 кПа ($\approx 1,2 \text{ м}$);
- можливість регулювання частоти обертів для стабілізації тиску;
- сумісність з частотним перетворювачем.

В якості прикладу можна обрати насос типу: Grundfos UPA 15-90 або аналогічний, з наступними параметрами:

- максимальний напір: 9 м ;
- продуктивність: до $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$;
- потужність: 120 Вт ;
- монтаж на трубопровід, автоматичне включення при водорозборі.

Цей тип насоса забезпечить достатній тиск і витрату для побутових потреб адміністративної будівлі, а також має компактні габарити та низький рівень шуму. При потребі у більших об'ємах води або резервуванні роботи – доцільно встановити ще один аналогічний насос або вибрати багатоступеневу насосну станцію.

2.5 Аналіз існуючих систем керування насосними установками

Системи керування насосними установками поділяються на кілька основних типів залежно від складності, типу об'єкта та вимог до точності підтримки тиску в системі. Найпоширеніші типи систем керування:

1 Пряме керування (ручне або автоматичне включення через тиск): Найпростіший варіант — використання реле тиску. При зниженні тиску до мінімального значення насос вмикається, при досягненні верхнього порогу — вимикається. Часто застосовується у побутових умовах, але не дозволяє ефективно регулювати витрати при змінному водорозборі (Рис. 2.2).

2 Керування через гідроаккумулятор:

Установки з гідроаккумулятором забезпечують накопичення певного об'єму

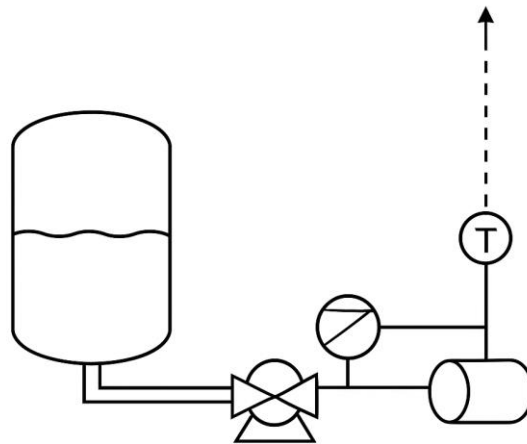


Рисунок 2.2 – Схема прямого керування насосною установкою

води під тиском (Рис. 2.3). Насос працює періодично, заповнюючи бак, що зменшує кількість пусків. Підходить для систем з нерівномірним

водоспоживанням, але обмежене у продуктивності та потребує додаткового місця для встановлення.

Основні компоненти:

- Насос
- Гідроакумулятор
- Датчик тиску (реле тиску)
- Зворотний клапан
- Електричний щит керування
- Клапан споживача (кран тощо)

Принцип роботи: Коли тиск у системі падає нижче нижнього порогу, реле тиску вмикає насос. Насос закачує воду в систему та гідроакумулятор. Коли тиск досягає верхнього порогу, реле тиску вимикає насос. При відкриванні крана вода йде спочатку з гідроакумулятора, не вмикаючи одразу насос.

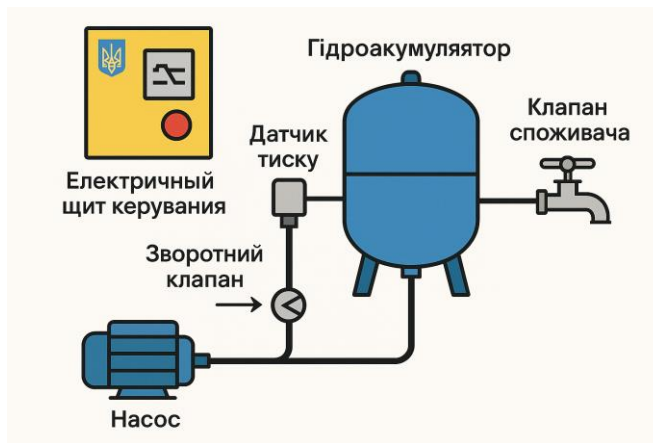


Рисунок 2.3 – Схема керування через гідроакумулятор

3 Системи з частотним перетворювачем:

Найбільш енергоефективне рішення — застосування частотного перетворювача (ЧП). Частотний перетворювач забезпечує плавне регулювання швидкості обертання двигуна залежно від тиску в системі. Це дозволяє зменшити

енерговитрати, знизити гідроудари та продовжити ресурс насосного обладнання. Системи з ЧП зазвичай мають розширені функції: діагностика, аварійні сигнали, дистанційне керування. У контексті даної адміністративної будівлі доцільно застосувати систему з частотним перетворювачем, оскільки вона дозволяє адаптувати подачу води до реального споживання, мінімізує витрати енергії та забезпечує стабільний тиск у мережі.

3 ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Розрахунок кількості гарячої води для потреб адміністративного приміщення

Обсяг гарячої води, необхідний для забезпечення потреб працівників адміністративної будівлі, визначається на підставі нормативів споживання гарячої води згідно з ДБН В.2.5-64:2012 та практичними рекомендаціями для громадських будівель.

Вихідні дані:

- кількість адміністративного персоналу — 32;
- кількість осіб решти працівників — 88 осіб;
- норма витрати гарячої води:
- для адміністративного персоналу: 15 л/добу
- для виробничого персоналу (з душовими): 45 л/добу.

Розрахунок добової потреби в гарячій воді:

$$Q_{адм} = 32 \times 15 = 480 \text{ л/добу}; \quad (3.1)$$

$$Q_{роб} = 88 \times 45 = 3960 \text{ л/добу}; \quad (3.2)$$

$$Q_{заг} = 480 + 3960 = 4440 \text{ л/добу} = 4,44 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (3.3)$$

Отже, для задоволення потреб працівників адміністративної будівлі необхідно забезпечити подачу гарячої води в обсязі приблизно 4,44 м³ на добу. При піковому навантаженні слід враховувати запас у розмірі 10–20%.

3.2 Вибір джерела нагріву води

У системі гарячого водопостачання адміністративної будівлі джерело нагріву води повинно бути ефективним, економічним та відповідати умовам експлуатації об'єкта. Враховуючи, що в опалювальний період для обігріву приміщень використовуються два твердопаливні котли, доцільним є застосування бойлерів непрямого нагріву.

Бойлер непрямого нагріву — це накопичувальний водонагрівач, у якому вода нагрівається за рахунок теплообмінника, через який циркулює теплоносій з котла. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати вже наявну систему опалення, не витрачаючи додаткової електроенергії або палива на нагрів води.

Переваги використання бойлера непрямого нагріву:

- Використання вже наявного джерела тепла (котли);
- Економія електроенергії;
- Швидке нагрівання води;
- Можливість підключення до рециркуляційної лінії;
- Високий об'єм подачі гарячої води для кількох точок водорозбору одночасно.

Для цілей проєкту рекомендовано обрати бойлер непрямого нагріву об'ємом не менше 300–400 літрів, із вбудованим теплообмінником площею не менше 1,5–2 м² та можливістю підключення до циркуляційного насоса.[3]

В літній період, коли котли не працюють, можливе додаткове використання електронагрівального елемента (ТЕН), що часто передбачено у конструкції комбінованих бойлерів. Це забезпечує універсальність системи протягом року.

У системі гарячого водопостачання адміністративної будівлі джерело нагріву води повинно бути ефективним, економічним та відповідати умовам

експлуатації об'єкта.[5] Враховуючи, що в опалювальний період для обігріву приміщень використовуються два твердопаливні котли, доцільним є застосування бойлерів непрямого нагріву.

Для цілей проєкту рекомендовано обрати бойлер непрямого нагріву об'ємом не менше 300–400 літрів, із вбудованим теплообмінником площею не менше 1,5–2 м² та можливістю підключення до циркуляційного насоса.

В літній період, коли котли не працюють, можливе додаткове використання електронагрівального елемента (ТЕН), що часто передбачено у конструкції комбінованих бойлерів. Це забезпечує універсальність системи протягом року.

Схема системи гарячого водопостачання з використанням бойлера непрямого нагріву подана нижче:

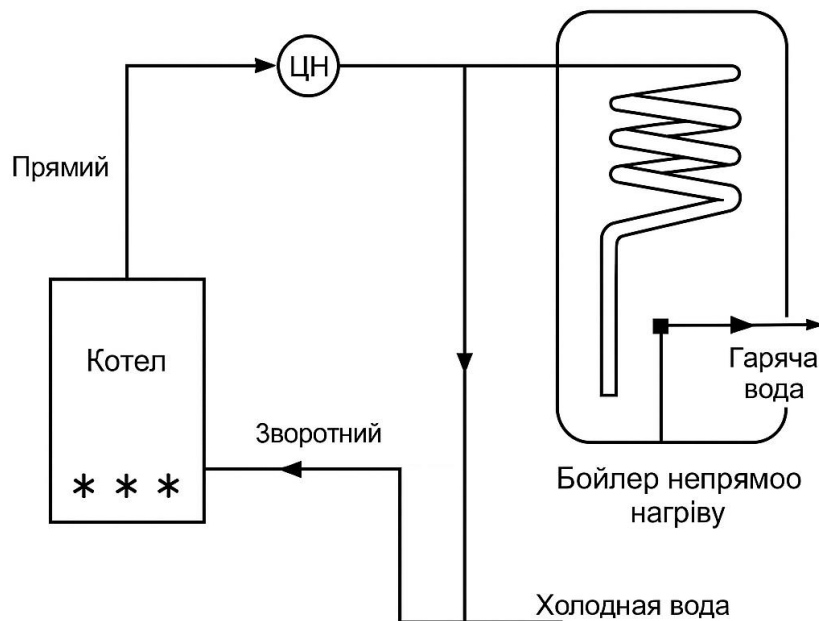


Рисунок 3.1 - Схема системи гарячого водопостачання з використанням бойлера непрямого нагріву

Бойлер непрямого нагріву — це накопичувальний водонагрівач, у якому вода нагрівається за рахунок теплообмінника, через який циркулює теплоносій з

котла.[5]. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати вже наявну систему опалення, не витрачаючи додаткової електроенергії або палива на нагрів води.

Переваги використання бойлера непрямого нагріву:

- використання вже наявного джерела тепла (котли);
- економія електроенергії;
- швидке нагрівання води;
- можливість підключення до рециркуляційної лінії;
- високий об'єм подачі гарячої води для кількох точок водорозбору одночасно.

3.3 Вибір електричної схеми живлення насосної установки

Насосна установка, що забезпечує гаряче водопостачання, повинна бути підключена до електричної мережі згідно з вимогами ПУЕ та ДБН щодо безпеки та енергоефективності. Схема живлення повинна забезпечувати надійність, захист від перевантажень і коротких замикань, а також можливість автоматичного або ручного керування.

До складу електричної схеми живлення насосної установки входять такі основні елементи:

- ввідний автоматичний вимикач;
- пристрій захисного вимкнення (ПЗВ);
- частотний перетворювач;
- контактор (магнітний пускач);
- теплове реле для захисту електродвигуна;
- насос із електродвигуном;

- сигнальна лампа (індикація роботи);
- реле тиску або PLC (у разі автоматизації);

Схема може бути реалізована як у вигляді стандартного пускового щита, так і з використанням програмованого логічного контролера (ПЛК), що дозволить реалізувати гнучку логіку керування, діагностику, індикацію та аварійне відключення [7]. У випадку використання частотного перетворювача (наприклад, Siemens SINAMICS V20 або аналогічного), він підключається безпосередньо між ввідним автоматом і електродвигуном насоса. Частотник забезпечує плавний пуск, регулювання обертів двигуна залежно від тиску та зниження струмових навантажень під час пуску насоса.

Схема живлення повинна бути виконана в окремому щиті з урахуванням правил техніки безпеки, заземлення, маркування клем та захисту від перенапруг.

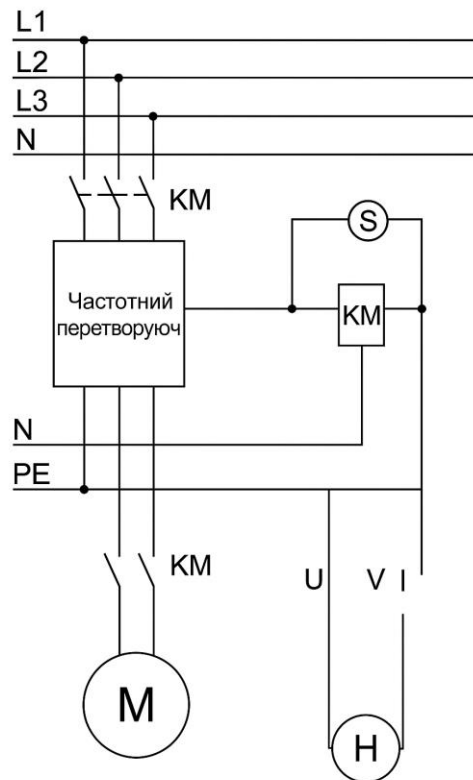


Рисунок 3.2 - Схема живлення системи гарячого водопостачання

3.4 Принцип роботи частотного перетворювача (ЧП)

Частотний перетворювач — це пристрій, який змінює частоту та напругу електричного струму, що подається на електродвигун. Основна мета — регулювання швидкості обертання двигуна.[7]

Структура і робота поетапно:

Випрямляч (вхідний етап):

Перетворює змінний струм (AC) з мережі у постійний (DC).

Використовує діодний або тиристорний міст.

DC-ланка (фільтрація):

Згладжує пульсації напруги.

Складається з конденсаторів або дроселів.

Інвертор (вихідний етап):

Перетворює постійний струм назад у змінний.

Але вже з регульованою частотою та амплітудою.

Застосовує ШІМ (широтно-імпульсну модуляцію).

Що відбувається з двигуном:

Частота струму визначає швидкість обертання:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (3.4)$$

де n — оберти, f — частота, p — кількість пар полюсів двигуна.

Зменшуючи частоту, знижується швидкість, споживана потужність і пусковий струм.

Основні переваги:

- плавний пуск і зупинка двигуна (без ривків);
- зменшення енергоспоживання;
- можливість підтримання стабільного тиску або витрати (наприклад, у насосах);
- захист від перевантаження.

Частотний перетворювач змінює частоту та напругу електричного струму, що подається на електродвигун. Це дозволяє регулювати швидкість обертання насоса в залежності від тиску чи витрати води в системі.[6]

Принцип роботи базується на поетапному перетворенні електроенергії:

Випрямляч: змінний струм (AC) з мережі перетворюється на постійний (DC). DC-ланка: стабілізує напругу та згладжує пульсації. Інвертор: перетворює постійний струм на змінний зі змінною частотою (ШІМ). Електродвигун: отримує керований струм і працює з необхідною швидкістю.

Принцип роботи частотного перетворювача

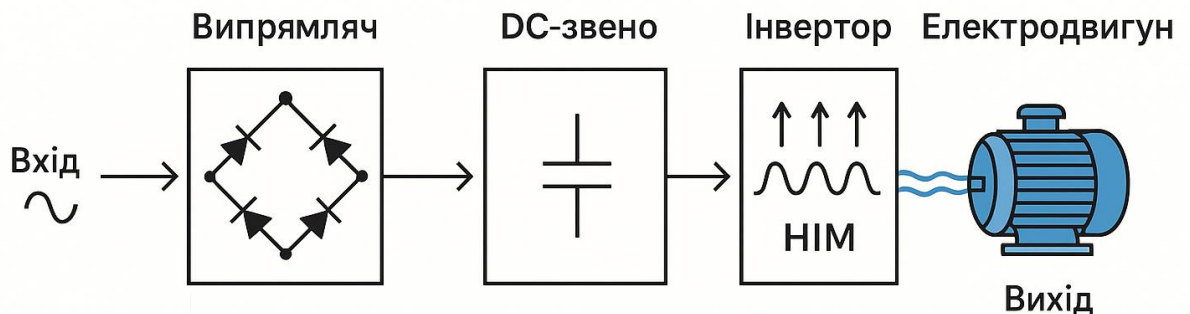


Рисунок 3.3 Принцип роботи частотного перетворювача

3.5 Принцип роботи випрямляча у складі частотного перетворювача

У сучасних електроприводах, зокрема для насосних установок систем водопостачання, широко використовуються частотні перетворювачі (ЧП), до складу яких входить тиристорний випрямляч. Такий пристрій є універсальним, оскільки може працювати як у режимі випрямлення (змінний струм перетворюється у постійний), так і в інверторному режимі (зворотне перетворення постійного струму у змінний зі змінною частотою). Незалежно від режиму, схема силових кіл залишається незмінною, і тому в межах проекту розглядається випрямляч як складова частина частотного перетворювача, що забезпечує перетворення змінного струму з трифазної мережі у постійний — для подальшого керованого інвертування.

Види випрямлячів:

- Некеровані (нерегульовані) — на основі діодів;
- Керовані (регульовані) — на основі тиристорів.

У системах, де потрібне регулювання швидкості обертання насосів, застосовуються керовані випрямлячі з тиристорами, які пропускають струм лише після отримання керуючого імпульсу. Це дає змогу регулювати рівень випрямленої напруги, а отже — і частоту струму на виході інвертора.

Способи регулювання:

У частотних перетворювачах використовується імпульсно-фазове керування тиристорами — відкривальний імпульс подається з певним фазовим зсувом (затримкою) відносно точки природного відкривання. Цей зсув задається у градусах і називається кутом керування α . Чим більший кут α , тим нижча напруга на виході випрямляча.

Типові схеми випрямлення:

Для живлення асинхронного двигуна насоса можуть застосовуватися такі схеми випрямлення [7]:

- Однофазна мостова схема (Греца);
- Трифазна мостова схема (схема Ларіонова);
- Трифазна нульова схема (Міткевича).

У нашій системі з живленням від КТП 2к-1000/10/0,4 кВ, доцільно використовувати трифазний мостовий випрямляч, що забезпечує стабільне живлення ЧП для насосів із трифазними асинхронними двигунами.

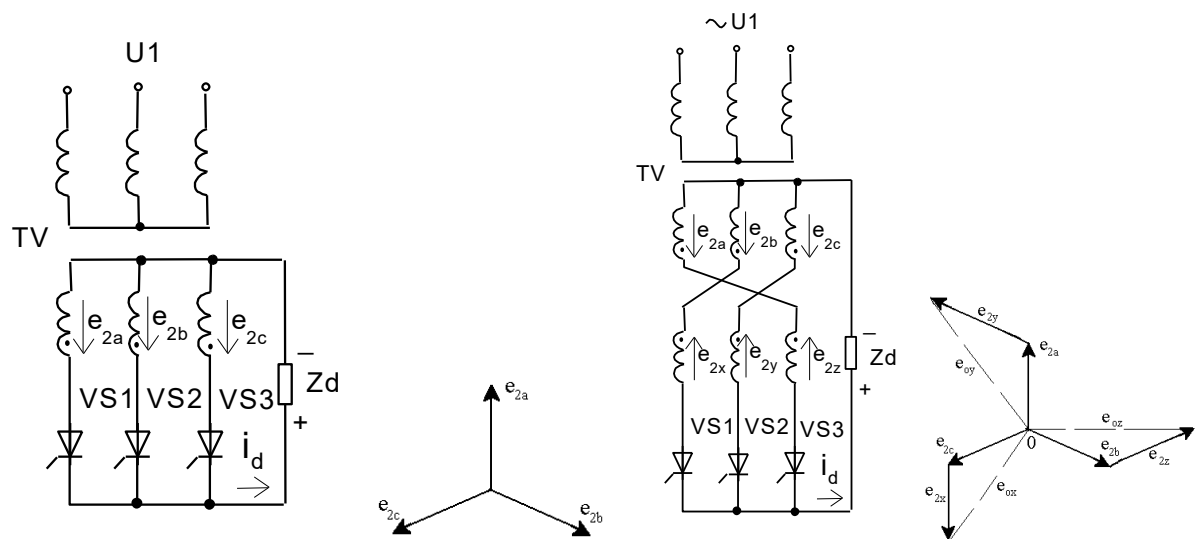


Рисунок 3.4 - Трифазні нульві схеми тиристорних перетворювачів.

Навантаження (в останньому випадку послідовно з якорем завжди вмикається велика згладжуюча індуктивність).

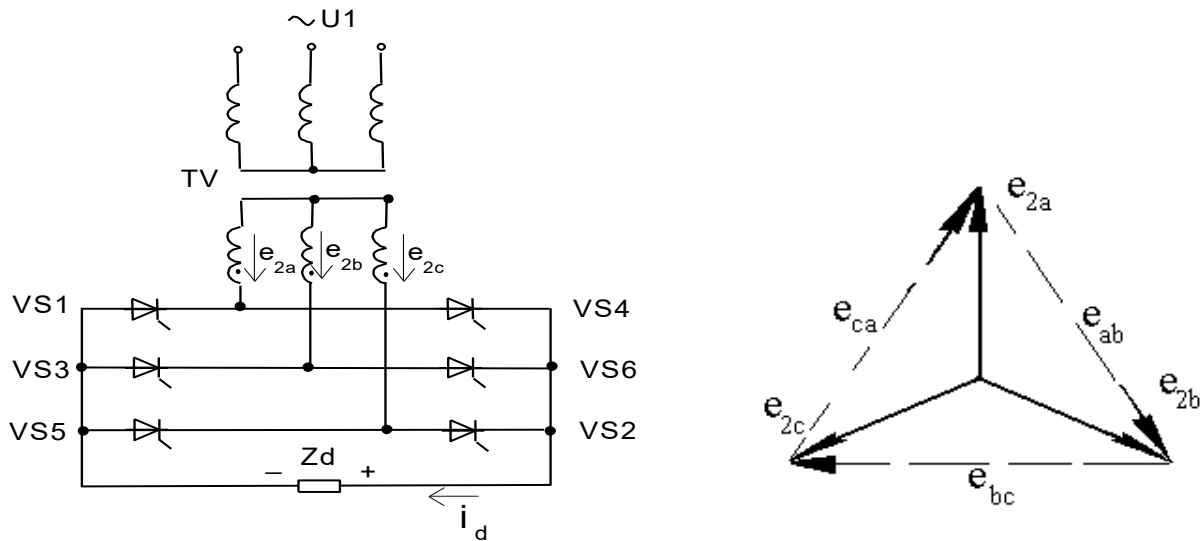


Рисунок 3.5 - Трифазна мостова схема випрямлення

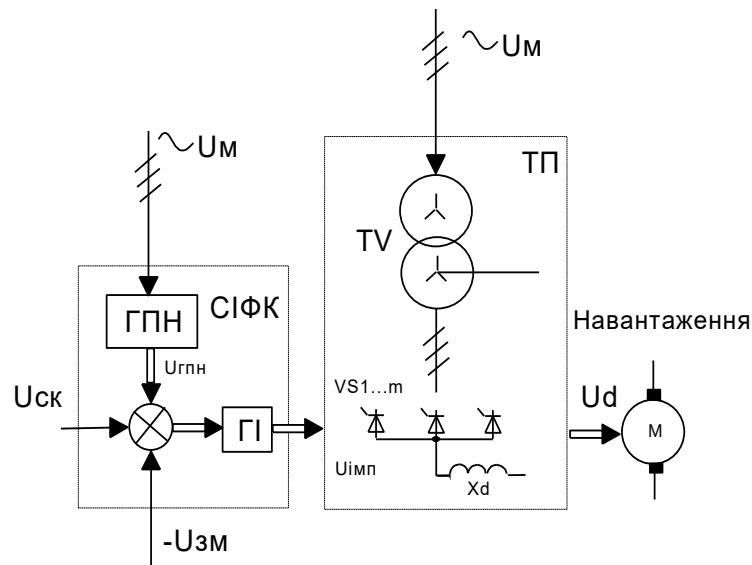


Рисунок 3.6 - Блок схема тиристорного електроприводу

Блок - схема керованого ТП зображена на рис.3.5 і включає такі основні функціональні вузли: силовий трансформатор TV , m -фазний вентильний комплект $VS1...VS_m$, систему імпульсно-фазового керування (СІФК). Призначення СІФК – перетворення неперервного постійного сигналу (в даному випадку різниці між

напругою сигналу керування $U_{\text{ск}}$ та напругою зміщення $U_{\text{зм}}$, що визначає початковий кут регулювання) в фазовий зсув кута α відкриваючого імпульсу для тиристорів у кожній фазі ТП. Як видно з часової діаграми на рис. 1.5, збільшення напруги $U_{\text{ск}}$ призводить до зменшення кута регулювання α , а значить до зростання середнього значення випрямленої ЕРС.

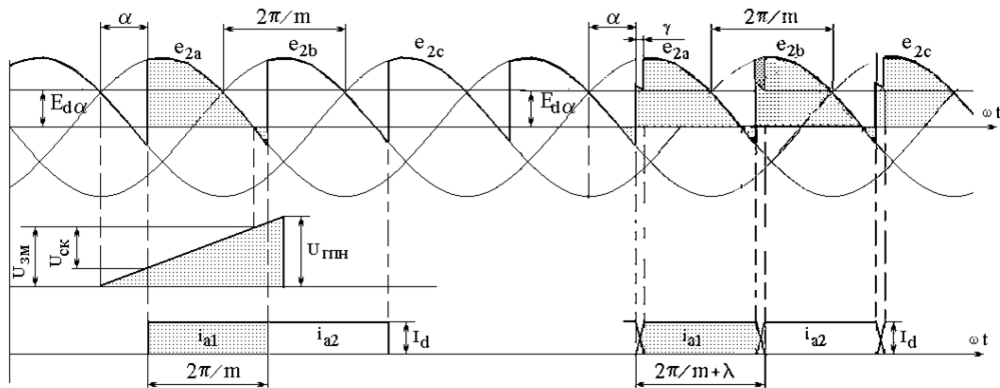


Рисунок 3.7 - Часові діаграми роботи тиристорного перетворювача

3.6 Врахування комутаційних процесів у реальних випрямлячах

У реальних умовах роботи випрямлячів необхідно враховувати комутаційні процеси, які виникають внаслідок наявності індуктивності розсіювання ($X_{\text{тр}}$) обмоток силового трансформатора. [10] Під час перемикання струму з одного вентиля на інший (тобто в момент комутації) протягом короткого інтервалу часу струм одночасно протікає через два вентиля, що беруть участь у комутації. Цей часовий інтервал характеризується кутом комутації γ , який виражається в електричних градусах. Унаслідок цього явища відбувається миттєве короткочасне замикання частини вторинної обмотки трансформатора. Це призводить до провалу випрямленої напруги (так званих “комутаційних провалів”), що супроводжується втратою частини напруги на виході випрямляча. Такі явища є типовими для тиристорних перетворювачів, особливо при великій індуктивності

трансформатора та високих навантажень, і мають враховуватись при виборі схеми живлення та проектуванні частотного перетворювача в цілому.

3.7 Оптимізація роботи насосної установки системи гарячого водопостачання

Оптимізація роботи насосної установки є ключовим фактором для забезпечення енергоефективності, надійності та тривалого строку служби системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі. Основною метою є адаптація режиму роботи насосів до змін водоспоживання без перевитрат електроенергії та забезпечення стабільного тиску у водопровідній мережі. В умовах змінного водоспоживання доцільно використовувати частотне регулювання швидкості обертання насосів.[1] Це дозволяє автоматично змінювати продуктивність насосів відповідно до поточних потреб, уникати надлишкового тиску та скорочувати кількість пусків і зупинок обладнання.

Методи оптимізації:

- встановлення частотного перетворювача з функцією PID-регулювання;
- використання датчиків тиску на виході з насосної групи;
- перемикання між основними і резервними насосами згідно з алгоритмом навантаження;
- забезпечення автоматичного відключення насосів при нульовому розборі води.

Крім того, важливим елементом є система моніторингу та діагностики, що дозволяє виявляти відхилення від нормальної роботи, перевантаження, падіння тиску або несправності в електродвигунах та елементах автоматики. Результатом

впровадження вищезазначених заходів є зниження експлуатаційних витрат, зменшення зношування обладнання та забезпечення безперебійного постачання гарячої води користувачам будівлі в будь-який час доби.

3.8 Розрахунок потужності частотного перетворювача

Частотний перетворювач (ЧП) — це електронний пристрій, який дозволяє змінювати частоту та амплітуду напруги, що подається на електродвигун змінного струму. Завдяки цьому досягається плавне регулювання швидкості обертання двигуна та зменшення енергоспоживання, особливо у випадках непостійного навантаження, як це характерно для насосних установок у системах водопостачання.[10]

Основною перевагою ЧП є можливість адаптації потужності електропривода до фактичного навантаження, що дає змогу не лише підвищити ефективність роботи, а й подовжити термін служби обладнання за рахунок зниження пускових струмів і уникнення гідравлічних ударів у трубопроводах.

При виборі частотного перетворювача ключовим критерієм є його потужність, яка повинна відповідати параметрам підключеного електродвигуна. Для цього враховують номінальну потужність двигуна та додають запас (коефіцієнт запасу), який компенсує додаткові навантаження, втрати в кабельних лініях, імпульсні струми пуску та інші динамічні фактори.

Припустимо, що для насосної установки використовується трифазний асинхронний двигун із такими параметрами:

- Потужність двигуна – 0,75 кВт
- Живлення – 3~ 380 В
- Частота – 50 Гц

Для забезпечення стабільної роботи частотного перетворювача приймається коефіцієнт запасу 1,2–1,3. Таким чином, мінімально необхідна потужність ЧП розраховується за формулою:

$$P_{\text{чп}} = P_{\text{дв}} \times K_{\text{запасу}} \quad (3.5)$$

$$P_{\text{чп}} = 0,75 \times 1,2 = 0,9 \text{ кВт}$$

Отже, частотний перетворювач повинен мати номінальну потужність не менше 0,9 кВт. З урахуванням асортименту обладнання на ринку, доцільно обрати стандартну модель з номіналом 1,1 кВт.

Для даної системи гарячого водопостачання рекомендовано використовувати частотний перетворювач типу, наприклад, Siemens SINAMICS V20 (1.1 кВт, 400 В, IP20), який забезпечує необхідну функціональність та сумісність із трифазними двигунами.

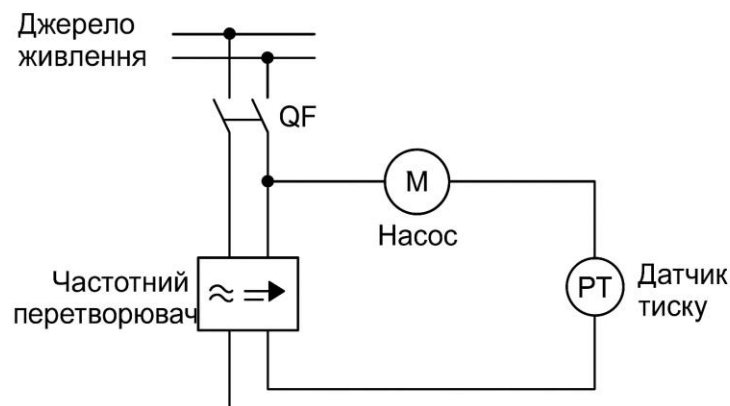


Рисунок 3.8 – Оптимізована схема керування насосною установкою системи гарячого водопостачання

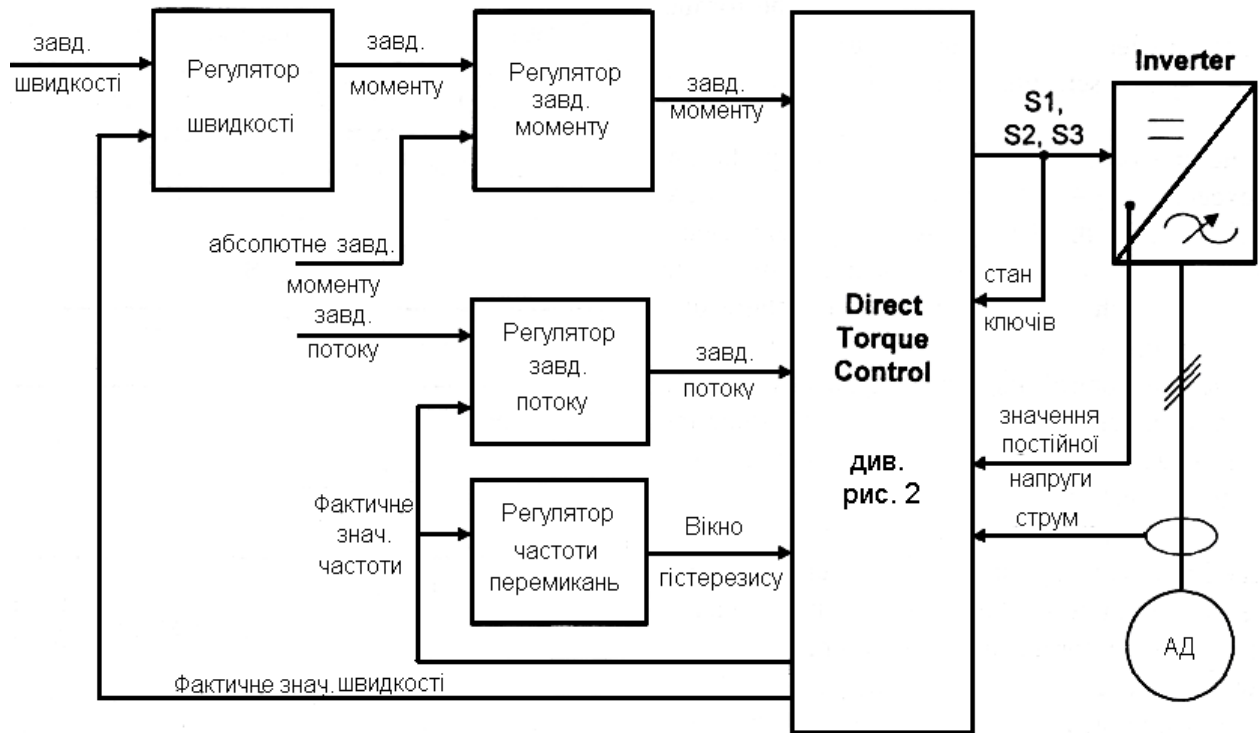


Рисунок 3.9 - Структурна схема прямого керування моментом

Методи прямого керування моментом ґрунтуються на безпосередньому управлінні станами ключів інвертора напруги (їх замиканні або розмиканні), що здійснюється на основі аналізу обчислених значень електромагнітного моменту та магнітного потоку статора. Основу технології DTC (Direct Torque Control) становить векторне керування з орієнтацією на вектор магнітного потоку, а також принцип прямого самокерування. Векторне керування в цьому випадку використовує спеціальну векторну теорію для оптимальної орієнтації магнітного поля, що забезпечує високоточне керування динамікою електропривода. Такий підхід реалізовано в алгоритмі векторного керування потоком у рамках DTC.

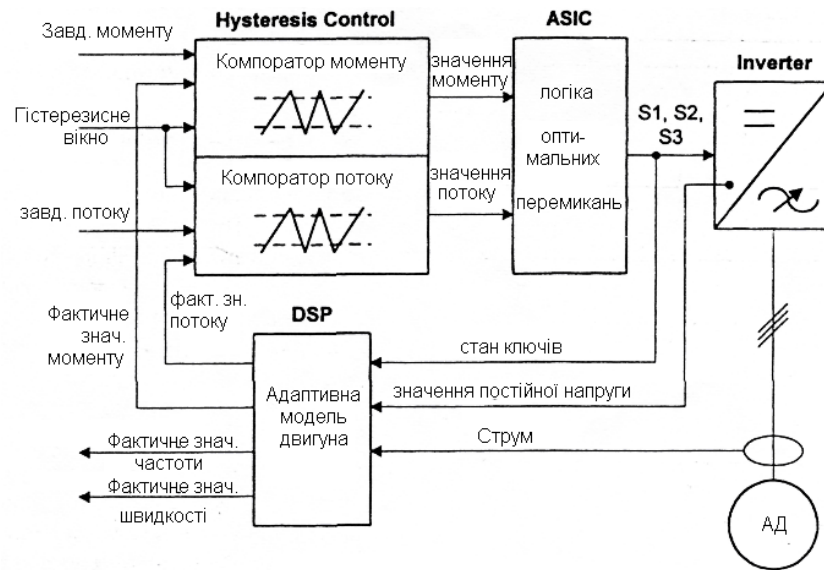


Рисунок 3.10 – Базова схема DTC

Момент створений двигуном є пропорційний добутку вектора потоку статора Ψ_s , а також вектора потоку ротора. Амплітуда потоку статора зазвичай зберігається сталою, наскільки це можливо, а момент, залежить від зміни кута γ між вектором потоку статора та потоком ротора.

$$M = k\vec{\Phi}_s \wedge \vec{i}_s = k\Phi_s \Phi_r \sin \gamma, \quad (3.6)$$

У випадку потреби збільшення моменту, алгоритм оптимального перемикання обирає відповідний вектор напруги статора U_x , який створює тангенціальне зусилля на векторі магнітного потоку статора Ψ_s , спрямоване на його обертання проти годинникової стрілки — у напрямку, протилежному до вектора потоку ротора. Збільшення кута γ між цими векторами призводить до зростання електромагнітного моменту. Коли ж необхідно зменшити момент, обирається нульовий вектор, що дозволяє магнітному потоку статора та моменту знижуватись природним чином. Якщо значення потоку досягає мінімального допустимого рівня, система реагує на це, збільшуючи його відповідно до заданого значення. У випадку, коли момент залишається недостатнім, логіка перемикання знову вибирає новий вектор напруги U_x , який сприяє зростанню потоку статора і

одночас зменшує кут γ між векторами потоку ротора та статора. Це дозволяє ефективно контролювати як момент, так і стан магнітного поля.

Для розрахунку параметрів регулятора контуру регулювання записуємо в операторній формі рівняння динаміки силової частини;

$$\omega_d(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{c T_{\text{ем}}} \left[R_{\text{як}} I_{\text{я}}(p) - \frac{R_{\text{як}}}{c} M_c(p) \right] \quad (3.7)$$

$$I_{\text{я}}(p) = [E_{d\alpha}(p) - E_d(p)]; \quad (3.7)$$

$$E_{d\alpha}(p) = \frac{K_{\text{тп}}}{p T_{\text{тп}} + 1} U_{\text{рс}}(p) \quad (3.9)$$

$$E_d(p) = c \cdot \omega_d(p) \quad (3.10)$$

де $T_{\text{ем}} = J_{\Sigma} R_{\text{як}} / c^2$ – електромеханічна стала часу приводу;

$c = (U_{\text{дн}} - I_{\text{ян}} R_{\text{якд}}) / \omega_{\text{н}}$ – стала двигуна, яка визначається за номінальними параметрами – напруги $U_{\text{дн}}$, струму $I_{\text{ян}}$, опору якірного кола двигуна $R_{\text{якд}}$ і кутової швидкості $\omega_{\text{н}}$;

$J_{\Sigma} = J_d + J_{\text{пм}}$ сумарний момент інерції, складовими якого є момент інерції двигуна J_d і приведений до валу двигуна момент інерції механізму $J_{\text{пм}}$;

M_c – момент навантаження на валу двигуна;

$R_{\text{як}} = R_{\text{якд}} + R_{\text{тп}}$ – активний опір кола системи ТП-Д; складовими якого виступають активний опір якірного кола двигуна $R_{\text{якд}} = R_{\text{яд}} + R_{\text{ко}} + R_{\text{дп}}$ і еквівалентний опір силового кола тиристорного перетворювача. $R_{\text{тп}} = k_{\text{r}} R_{\text{тр}} + k_{\text{x}} X_{\text{тр}} + R_{\text{д}} + R_{\text{др}} + R_{\text{зр}}$; $R_{\text{яд}}$; $R_{\text{ко}}$; $R_{\text{дп}}$ – активні опори якоря двигуна, компенсаційної обмотки і обмотки додаткових полюсів двигуна;

$R_{\text{тр}}$, $X_{\text{тр}}$, $R_{\text{д}}$, $R_{\text{др}}$, $R_{\text{зр}}$ – активний і реактивний опори трансформатора, динамічний опір тиристорів; опори згладжувального дроселя і зрівнювальних реакторів;

$k_R=0.48$, $k_x=1$ – коефіцієнти тиристорного перетворювача;

$T_{як}=L_{як}/R_{як}$ – стала часу силового кола системи ТП-Д;

$L_{як}+L_{тп}$ – сумарна індуктивність силового кола системи ТП-Д;

$L_{якд}= L_{яд}+L_{ко}+L_{дп}$ – індуктивність якірного кола двигуна, компенсаційних обмоток і додаткових полюсів;

$L_{тп}=L_{тр}+L_{др}$ – індуктивність силового кола тиристорного перетворювача ТП, складовими частинами якої є приведена індуктивність трансформатора і згладжувального дроселя;

$k_{тп}= \Delta(E d\alpha)/\Delta U_k$ – коефіцієнт посилення ТП за напругою;

$T_{тп}=T_k+\tau$ - еквівалентна стала часу ТП, складовими частинами якої є стала часу СІФК T_k і час запізнення $\tau=1/(\mu f_m)$.

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика дозволяє визначити запас по фазі двоконтурної СПР

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= 180^0 - n_i \cdot 90^0 - \Sigma \arctg \frac{\omega_{3p}}{\omega_d} = \\ &= 180^0 - 2 \cdot 90^0 - \arctg \frac{T_{\mu ш}}{2T_{\mu ш}} + \arctg \frac{4T_{\mu ш}}{2T_{\mu ш}} = 37^0,\end{aligned}$$

В цьому режимі вираз для прискорення можна записати у вигляді

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \cong \frac{1}{J_{\Sigma}} (CI_{стоп} \pm M_c). \quad (3.11)$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Техніка безпеки та вимоги електробезпеки

Під час експлуатації електричних установок повинні виконуватися вимоги техніки безпеки, а саме:

1. Пристрій і експлуатація електроустановок повинні відповідати діючим правилам технічної експлуатації і правилам техніки безпеки при експлуатації електричних установок промислових підприємств та навчальних закладів.

2. Всі доступні до дотику струмоведучі частини електрообладнання повинні бути надійно огороженні.

3. Пускова (рубильники, вимикачі, магнітні пускачі, реостати і т.д.) і захисна (запобіжники, автомати і т.д.) апаратура повинна бути закритого типу, щоб виключити можливість дотику до струмоведучих частин.

4. Металеві частини електрообладнання, які не знаходяться під напругою, але можуть знаходитися під напругою внаслідок несправності повинні бути надійно заземленні.

5. Електричні дроти повинні бути захищенні від механічних пошкоджень, від доторкання із стальними канатами, гарячими поверхнями, та кислотами згубно діючими на ізоляцію.

6. Забороняється наступати на кабелі, електричні дроти, а також допускати щоб їх переїздили транспортними засобами.

7. Не спостерігати неозброєним оком на електричну дугу, так як це може призвести до захворювання очей, біль в очах може проявитися через кілька годин.

8. При порушенні або несправності заземлення електричної установки повинні терміново прийняті міри по їх усуненню.

9. Заміна термоплавких вставок у запобіжниках, щитках повинна проводитися при вимкненому рубильнику. При цьому монтажник повинен обов'язково надівати гумові рукавички, головний убір і захисні окуляри.

10. Електрифікований інструмент при роботі під напругою вище 36 В, повинен бути заземлений.

11. Електропроводка і арматура силової освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічного впливу.

12. При роботі коло відкритих струмоведучих частин необхідно встановлювати щити і решітки, покриті гумовими коврами.

13. Роботи по ремонту обладнання і механізмів повинні проводитися тільки після повного відключення від мережі електропостачання, при цьому у місцях відключення обов'язково вивішують попереджувальні плакати.

14. Забороняється тримати легкозаймисті речовини коло працюючих електричних машин, апаратів, приладів і провідників.

4.2 Електробезпека в приміщенні насосної станції

Для надійної електробезпеки приміщенні насосної станції необхідно розрахувати заземлення. Для розрахунку заземлення задаються слідуючи ми умовами. Грунт на місці насосної станції земля садова, кліматична зона №3. Додатково в якості заземлення використовувати природне заземлення

фундаменту, з опором розтікання 9 Ом, у матеріал заземлювачів кутник №36 довжиною 20 м. Верхні кінці вертикальних кутників вкопані на глину 0,7 м і приварені до горизонтального електрода з такої ж сталі. Приймаємо необхідне по ПУЕ (правила установки електрообладнання) допустимий опір заземлюючого пристрою $R_{зм} = 0,4$ Ом. Рекомендуючий для розрахунків опір землі у місці споруди заземлення, для землі садової $\rho = 50$ Ом·м [8]. Підвищуючий коефіцієнт для кліматичної зони №3 приймаємо $K_r = 2,2$ [8], для горизонтальних електродів при глибині залягання 0,8 м, і $K_v = 1,5$ для вертикальних електродів довжиною від 2 до 3 м при глибині залягання верхівок 0,5...0,8 м.

Розрахунковий питомий опір ґрунту:

– для горизонтального

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho. \quad (4.1)$$

$$\rho_{роз.г} = 2,2 \cdot 50 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

– для вертикального

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho. \quad (4.2)$$

$$\rho_{роз.в} = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання одного вертикального електрода кутник №36, довжиною 2,5 м, глибиною занурення 0,7 м нижче рівня землі відповідно літератури [8]

$$R_{о.в.е.} = \frac{\rho_{роз.в}}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right), \quad (4.3)$$

де $d=0,95 \cdot b$, b - ширина кутника $b = 3,6$ мм

$$t = \frac{1}{2}L + 0,7, L - \text{довжини кутники}, L = 2,5 \text{ м.}$$

$$d = 0,95 \cdot 0,036 = 0,342 \text{ м}$$

$$t = \frac{1}{2} \cdot 2,5 + 0,7 = 1,95 \text{ м}$$

$$R_{o.g.e.} = \frac{75}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,0342} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 25,35 \text{ Ом.}$$

Визначаємо приблизне число вертикальних заземлювачів при попередньо прийнятому коефіцієнті $K_{н.г} = 0,58$ [8].

$$n = \frac{R_{o.g.c.}}{K_{н.г.} \cdot R_{н}},$$

де $R_{н}$ опір природного заземлювача, $R_{н} = 4$ Ом.

$$n = \frac{25,35}{0,58 \cdot 4} = 10,9 \text{ шт}$$

Визначаємо коефіцієнт розтікання горизонтального електрода (кутник №36) приварених до верхівок кінців вертикальних електродів.

При коефіцієнті використання горизонтального електрода $K_{г.з.с.} = 0,74$ [8]

$$R_{r.e} = \frac{\rho_r}{K_{г.з.с.} \cdot 2\pi L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t}. \quad (4.4)$$

$$R_{r.e} = \frac{110}{0,74 \cdot 23,14 \cdot 20} \ln \frac{2 \cdot 20^2}{0,036 \cdot 0,7} = 12,26 \text{ Ом.}$$

Уточнюємо необхідний опір вертикальних електродів з врахуванням провідності горизонтальних з'єднувальних електродів.

$$R_{\text{в.е}} = \frac{R_{\text{о.з.е}} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\text{о.з.е}} - R_{\text{н}}} . \quad (4.5)$$

$$R_{\text{в.е}} = \frac{12,26 \cdot 4}{12,26 - 4} = 5,94 \quad \text{Ом}$$

4.3 Охорона та ефективне використання водних ресурсів

Водокористування – це використання водних об’єктів для задоволення потреб населення та об’єктів господарської діяльності.

Підприємство споживає воду із двох артезіанських свердловин глибиною 40 метрів. Закачується вона за допомогою заглибного насосу і по трубопроводу подається до споживачів. Дана вода відповідає всім санітарно-гігієнічним нормам і використовується як для споживання, так і у виробничих процесах. Після використання вода очищується за допомогою спеціальних фільтрів і потім проходить оборотне водопостачання.

Якість води – це сукупність фізичних, хімічних, біологічних та бактеріологічних показників, нормуються державними галузевими стандартами або технічними умовами. Рівень очистки води на підприємстві знаходиться на досить високому рівні та відповідає вимогам. Практикується ряд способів очистки забруднених вод: хімічний, біологічний, механічний.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Проєкт автоматизованої системи гарячого водопостачання адміністративної будівлі на підприємстві з виготовлення металоконструкцій спрямований на підвищення енергоефективності, надійності та економічності водопостачання. Враховуючи відсутність централізованого теплопостачання і газу, для нагріву води застосовується бойлер непрямого нагріву, підключений до твердопаливного котла. Керування насосною установкою реалізовано за допомогою частотного перетворювача.

5.1 Переваги впровадженої системи

- Зменшення споживання електроенергії за рахунок частотного регулювання;
- Плавний пуск і зупинка насосів, зменшення зносу обладнання;
- Автоматична підтримка тиску в системі;
- Використання існуючих твердопаливних котлів для підігріву води без додаткових витрат на енергоносії;
- Можливість оперативного обслуговування та діагностики через ПЛК або ЧП;

5.2 Оцінка економічної ефективності

Для оцінки ефективності впровадження системи порівняємо два варіанти:

1. Насосна установка без частотного регулювання;
2. Установка з частотним перетворювачем.

Припущення для розрахунку:

- Середня потужність двигуна — 0,75 кВт
- Час роботи насосів — 10 год/день
- Кількість робочих днів — 250 днів/рік

– Тариф на електроенергію — 10 грн/кВт·год

Річне споживання без ЧП:

$$E_1 = 0,75 \times 10 \times 250 = 1875 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Зниження споживання з ЧП (на 25%):

$$E_2 = 0,75 \times 0,75 \times 10 \times 250 = 1406,25 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економія електроенергії: $\Delta E = 1875 - 1406,25 = 468,75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Грошова економія: $\Delta C = 468,75 \times 5,5 = 2578,13 \text{ грн/рік}$

5.3 Розрахунок терміну окупності

Для визначення економічної доцільності впровадження частотного перетворювача виконується розрахунок терміну окупності за формулою:

$$T = C_{\text{інв}} / \Delta C_{\text{річна}}$$

де:

- T – термін окупності, років;
- $C_{\text{інв}}$ – загальні інвестиційні витрати на впровадження, грн;
- $\Delta C_{\text{річна}}$ – річна економія на електроенергії, грн.

Припустимо, що вартість частотного перетворювача становить 8000 грн, а витрати на монтаж і налаштування – 2000 грн. Отже, загальна сума інвестицій:

$$C_{\text{інв}} = 8000 + 2000 = 10000 \text{ грн}$$

Раніше визначено, що щорічна економія становить:

$$\Delta C_{\text{річна}} = 2578,13 \text{ грн}$$

Розрахуємо термін окупності:

$$T = 10000 / 2578,13 \approx 3,88 \text{ років}$$

Таким чином, система окупиться приблизно за 3,9 роки. Після цього весь зекономлений ресурс становитиме чисту річну економію.

ВИСНОВОК

Проведені розрахунки вказують на значну економічну ефективність пропонованої моделі системи керування. Як результат отримаємо:

- зменшення річної вартості електричної енергії для потреби системи водопостачання, що становить велику частину експлуатаційних затрат;
- витрати на монтаж та експлуатацію обладнання становлять 2 тис. грн;
- собівартість одного кубічного метра води стає конкурентною;
- розрахунковий прибуток від впровадження модернізованої системи керування насосами водопостачання визначається виходячи з річного об'єму спожитої води і середньої вартості 1 м³.

Впровадження системи з частотним регулюванням забезпечує річну економію електроенергії на рівні понад 2500 грн, а також підвищує надійність і знижує експлуатаційні витрати. Окупність системи можлива протягом 2–3 років залежно від вартості ЧП та монтажних робіт. Рекомендовано до впровадження на аналогічних об'єктах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гідравліка: Навчально – методичний комплекс. Навчально – методичний посібник В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур та ін. За ред. В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур. Кам'янець – Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. 572 с.
2. Гідравліка. Загальний курс: Підручник Б.Ф. Левицький, Н.П. Лещій. Львів: Світ, 1994. 264 с.
3. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навчальний посібник Ю.А. Буренніков, І.А. Немировський, Л.Г. Козлов. Вінниця: ВНТУ, 2013. 273с.
4. Дідур В.А., Журавель Д.П., Палішкін М.А. та ін. Гідравліка. Підручник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2020. 624 с.
5. Холоменюк М.В., Ткачук А.В., Онопрієнко Д.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Навчальний посібник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2019. 356 с.
6. Проектування і розрахунок опалення житлових будинків. Методичні поради С.В.Синій. Луцьк: ЛДТУ, 1999.- 52 с.
7. Ремез Н.С., Кисельов В.Б., Дичко А.О., Мінаєва Ю.Ю. Чисельні методи розв'язання технічних задач. Підручник. Одеса: Олді+, 2022. 186 с
8. Рогалевич Ю.П. Гідравліка. Київ: Вища школа, 2003. 238 с.
9. Стандарт підприємства (СТП) 049373.01-07 Дипломні і курсові проекти (роботи). Загальні вимоги до оформлення. Дубляни, ЛНАУ, 2007.38 с.
10. Холоменюк М.В., Ткачук А.В., Онопрієнко Д.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Навчальний посібник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2019. 356с.

- 11.Шолудько В.П., Боярчук В.М., Шолудько Я.В., Михалюк М.А. Теплотехніка та використання теплоти. Львів «Сполом», 2007, 190с
- 12.Шмат К.І., Солодовніченко В.М., Папченко О.І. Автоматизовані системи сільськогосподарської техніки. Навчальний посібник. Стереотипне видання, Одеса: Олді+, 2019. 196 с.
- 13.Бібліотечно–інформаційні ресурси –[книжковий фонд](#), періодика та фонди на [електронних носіях](#) бібліотеки ЛНУП, державних органів науково-технічної інформації, наукових, науково–технічних бібліотек та інших наукових бібліотек України.
- 14.Електронні інформаційні ресурси мережі інтернет з переліком сайтів:
15. <http://lnup.lviv.ua/lnup> ; <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>; <http://www.twirpx.com>; <http://hotline.ua> moodle.lnau.edu.ua