

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності насосних станцій,
що забезпечують водою до 50 тис. споживачів

Виконав: студент 5 курсу, групи
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

Боднар О.О.

Керівник проф. Артемчук В.В.

Рецензент проф. Коваленко В.Л.

Запоріжжя

2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.



В.Л. Коваленко

“ 18 ” травня 2023 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Боднару Олександрю Олександровичу

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності насосних станцій, що
забезпечують водою до 50 тис. споживачів

Керівник роботи: проф. Артемчук В.В.

затверджені наказом ЗНУ від « 29 » грудня 2022 року № 1894 - с _____

2. Строк подання студентом роботи: 10 травня 2023 року _____

3. Вихідні дані до роботи: Поточний тариф за споживання електроенергії; час
роботи двигунів на рік – 3350 годин; загальна потужність електродвигунів – 250
кВт








**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано
розробити):**

- Вступ. 1) Загальна характеристика задачі забезпечення водними ресурсами
споживачів 2) Системи регульованого електроприводу в насосних агрегатах
регульованого електроприводу для насосних агрегатів водопостачання.
4) Впровадження частотно-регульованого електроприводу та визначення
економічного ефекту. 5) Охорона праці і техногенна безпека.

5. Перелік графічного матеріалу (рекомендовано):

1) Аналіз можливості зниження витрат електричної енергії обладнанням насосних станцій 2) Аналіз споживання електроенергії насосною станцією 3) Режим роботи насосного агрегату 4) Цикл навантаження і особливості роботи насосних агрегатів. 5) Аналіз ефективності роботи РЕП з регулюванням напруги статора. 6) Аналіз роботи РЕП з частотним перетворенням 7) Підвищення ефективності електроспоживання насосу водозабірної групи 8) Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|---|---|
| | | Завдання прийняв | Завдання прийняв |
| Розділ 1 | Артемчук В.В., професор |  |  |
| Розділ 2 | Артемчук В.В., професор |  |  |
| Розділ 3 | Артемчук В.В., професор |  |  |
| Нормоконтроль | Башлій В.С., доцент |  | |

7. Дата видачі завдання 30.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Системи регульованого електроприводу в насосних агрегатах | 01.03.23 | |
| 2 | Аналіз доцільності використання регульованого електроприводу для насосних агрегатів водопостачання | 01.04.23 | |
| 3 | Впровадження частотно-регульованого електроприводу та визначення | 10.05.23 | |

Студент



(підпис)

Боднар О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник/консультант роботи



(підпис)

Артемчук В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер



(підпис)

Башлій С.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Боднар О.О. Підвищення енергоефективності насосних станцій, що забезпечують водою до 50 тис. споживачів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Науковий керівник Артемчук В.В., Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М., кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023 р.

Проведено аналіз методів та режимів регулювання обертів асинхронних двигунів. Проаналізовано залежність втрат електроенергії від використання методів регулювання. Визначено модель розрахунку втрат електричної енергії в регульованому електроприводі при різних законах регулювання. Запропоновано раціональні заходи для зниження втрат електроенергії в електроприводі насосних агрегатів.

Ключові слова: АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, РЕЖИМ РОБОТИ

ABSTRACT

Bodnar O.O. Increasing the energy efficiency of pumping stations that supply water to 50,000 consumers.

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in the specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Academic supervisor Artemchuk V.V., Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny, Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2023.

An analysis of the methods and modes of speed regulation of asynchronous motors was carried out. The dependence of electricity losses on the use of regulation methods is analyzed. The model for calculating electrical energy losses in a regulated electric drive with different regulation laws is defined. Rational measures are proposed to reduce power losses in the electric drive of pumping units.

Key words: ASYNCHRONOUS MOTOR, ADJUSTABLE ELECTRIC DRIVE, ELECTRIC ENERGY LOSSES, OPERATION MODE

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ | 9 |
| 1.1 Аналіз енергетичних параметрів насосної станції..... | 11 |
| 2 ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ..... | 16 |
| 2.1 Режими роботи та основні характеристики насосних установок..... | 16 |
| 2.2 Регульований асинхронний електропривод з регулюванням напруги у статорній обмотці..... | 24 |
| 2.3 Частотно-регульований асинхронний електропривод..... | 26 |
| 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК..... | 30 |
| 3.1 Особливості роботи асинхронних двигунів в насосних установках..... | 30 |
| 3.2 Оцінка економічної ефективності енергозбереження в асинхронних двигунах насосних установок..... | 35 |
| 3.3 Оцінка ефективності роботи в електроприводі з регулюванням напруги статора..... | 45 |
| 3.4 Оцінка ефективності роботи електроприводу з ЧР при різних законах регулювання..... | 50 |
| ВИСНОВКИ..... | 61 |
| ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 62 |
| ДОДАТКИ..... | 64 |

ВСТУП

Енергоефективність та енергозбереження є пріоритетними напрямками енергетичної політики більшості країн світу. Це обумовлено вичерпанням невідновних паливно-енергетичних ресурсів, відсутністю реальних альтернатив їх заміни, наявністю ризиків при їх виробництві і транспортуванні. В останній час ці чинники набувають все більшого значення у зв'язку із загальною нестабільністю у регіонах видобутку ПЕР, напругою на паливно-ресурсних ринках та несприятливими прогнозами щодо подальшого зростання цін на енергоресурси. Розвинені країни світу, у першу чергу, країни ЄС, які вже досягли значних успіхів у вирішенні проблем енергоефективності, продовжують пошук нових джерел енергозабезпечення та розробку заходів щодо енергозбереження, що є позитивним прикладом для України. З огляду на ситуацію, що сьогодні складається, вирішення цих проблем буде відбуватися в умовах загальної нестабільності в світі, у тому числі і на паливно-ресурсних ринках, несприятливих прогнозів щодо подальшого зростання цін на енергоресурси та незначних іноземних інвестицій у вітчизняну економіку.

На сучасному етапі основними реальними та потенційними загрозами енергетичній безпеці України є неефективність використання паливно-енергетичних ресурсів, відсутність активної політики енергозбереження, недостатні темпи диверсифікації джерел постачання енергоносіїв, низький рівень екологічної прийнятності енергетичного виробництва та соціальні конфлікти в сфері енергетичного виробництва та енергопостачання населення. Сучасний стан енергетичної безпеки в Україні є незадовільним. Однією із основних причин цього є низька ефективність виробництва, транспортування та споживання ПЕР, відсутність активної політики енергозбереження в країні. Актуальність теми. У зв'язку з цим, проблема енергозбереження стала гостро актуальною в сфері водопостачання, де енергетичні витрати, виражені в грошовій формі, виявилися особливо обтяжливими. Насосні агрегати на основі АД є одними з наймасовіших споживачів електроенергії, споживаючи близько 25 % усієї вироблюваної електроенергії. Один із шляхів підвищення

економічності електроприводу насосних агрегатів пов'язаний з використанням регулювання частоти обертів. Напрямок розвитку електричних машин, пов'язаний з підвищенням їх енергоефективності, в першу чергу пов'язано зі зростанням цін на енергоносії. Саме ці процеси зумовлює пошук способів підвищити енергоефективність АД, що використовуються для електроприводу насосних агрегатів.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

В розглядуваній насосній станції є чотири насосних групи в залежності від призначення рідини: водозабірні, допоміжні, дренажні, перекачуючи. Встановлено насоси двох видів: консольні відцентрові типу К і одноступінчасті насоси типу Д.

Водозабірна група насосів з тиском 8 кг/см^2 вода надходить в загальний колектор, звідки по трубопроводах входу частина води надходить в напірний басейн, а частина – через регулятор перепуску в подаючу магістраль [2]. Насоси всі встановлені одноступінчасті горизонтальні з двосторонньою подачею рідини, характеристика наведена в таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика насосів водозабірної групи

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | ККД, % | Кількість, шт |
|---|----------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|---------------|
| 1 | Д-630-90 | АИР132 М4 | 250 | 630 | 90 | 1450 | 82 | 4 |
| 2 | Д-320-50 | АИР132 М4 | 75 | 320 | 50 | 1450 | 80 | 2 |

Допоміжна група призначена для заповнення водою систему під час пуску водозабірних насосів, водяного змащення підшипників напрямних і сальникових ущільнень насосів, а також до теплообмінникам допоміжного обладнання (компресорів, великих електродвигунів). Підживлення здійснюється допоміжними насосами типу "К"- відцентрові, консольні, одноступінчасті з одностороннім підведенням рідини до робочого колеса, призначені для перекачування води виробничо-технічного призначення, технічна характеристика наведена в таблиці 1.2 [1].

Дренажна група насосів встановлена в підвалі насосної, для відкачування води з дренажної ями для скидання її в каналізацію. Насоси типу

"К"- відцентрові, консольні, одноступінчаті з одностороннім підведенням рідини до робочого колеса. Технічна характеристика наведена в таблиці 1.3 [1].

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика насосів допоміжної групи

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | ККД, % | Кількість шт |
|---|----------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|--------------|
| 1 | К90/35 | АИР200 М2 | 15 | 90 | 35 | 2950 | 77 | 2 |
| 2 | КС-12-50 | АИР160 М6 | 5,5 | 12 | 60 | 3000 | 80 | 1 |

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика дренажної групи насосів

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | ККД, % | Кількість шт |
|---|------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|--------------|
| 1 | 4К-8 | АИР112 М2 | 18,9 | 100 | 50 | 2900 | 70 | 1 |

Перекачуюча група насосів потрібна для підвищення тиску при подачі води на далеку відстань. Завдання цієї групи: наповнення водонапірних басейнів та зняття навантаження з водозабірної групи [3]. Встановлені насоси одноступінчаті відцентрові двосторонні типу Д, технічна характеристика наведена в таблиці 1.4 [1].

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика перекачуючої групи насосів

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | ККД, % | Кількість, шт |
|---|----------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|---------------|
| 1 | Д-320-50 | АИР13 2М4 | 75 | 320 | 50 | 1450 | 80 | 3 |

1.1 Аналіз енергетичних параметрів насосної станції

Система електропостачання насосної станції – магістральна. Розподільні пристрої (РП) призначені для прийому, розподілу й обліку електричної енергії напругою 380/220 В трифазного змінного струму частотою 50-60 Гц в мережах з системою заземлення – TN-C, TN-S, TN-C-S, для захисту ліній при перевантаженнях і коротких замиканнях.

Усе електрообладнання живиться по двом секціям, перша секція (водозабірні та перекачуючі насоси) живиться від фідера №8 та друга секція (допоміжні, дренажні) від фідера №24.

РП-0,4 кВ, і є низьковольтною складовою підстанції і може використовуватися для побудови всіх типів головних, вторинних і кінцевих низьковольтних розподільних щитів, розрахованих на струми до 4000 А [9].

Живлення РП – 0,4 кВ здійснюється від трансформаторів типу ТМ- 1000, технічні характеристики яких розміщено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика трансформатора ТМ-1000

| Найменування | Одиниці виміру | Нормативні значення |
|---------------------------|----------------|---------------------|
| Тип | - | ТМ |
| Кількість фаз | - | 3 |
| Вид охолодження | - | масляне охолодження |
| Клас напруги | кВ | 6 |
| Номінальна напруга | | |
| Первинне | кВ | 6 |
| Вторинне | кВ | 0,4 |
| Номінальна частота мережі | Гц | 50 |

Трансформатори серії ТМ-1000 являються стаціонарними, силовими, масляними, понижуючими, трифазними, двох обмотувальними, загального призначення.

Встановили для перетворення електроенергії одного класу напруги в інший і живити різні споживачі електроенергії. Трансформатори масляні серій

ТМ -1000 призначені для роботи в електромережах напругою 6 або 10 кВ у відкритих електроустановках в умовах помірного клімату (виконання У1 по ГОСТ 15150-69) і служать для зниження високої напруги живильної електромережі до встановленого рівня споживання. Баки трансформаторів типу ТМ прямокутної форми. Трансформатори виготовляються з гофрованими баками. Активна частина складається з магнітопроводу, виготовленого з холоднокатаної електротехнічної сталі, обмоток і високовольтного перемикача. Обмотки трансформаторів алюмінієві або мідні. Введення ВН і НН зовнішньої установки, знімні, ізолятори прохідні фарфорові. Маслорозширювач забезпечує наявність масла при всіх режимах роботи трансформатора і коливаннях температури навколишнього середовища.

Трансформатори ТМ-1000 випускаються з номінальною напругою первинної обмотки (високої напруги) до 10 кВ включно і вторинної обмотки (низької напруги) – 0,4 кВ [3].

Обидві секції ставляться під напругу через кабельні роз'єднувачі типу РВЗ - 6/600 і шинні роз'єднувачі типу РВ-6/400. Між секціями зібрана схема АВР на двох секційних роз'єднувачах типу РВ-6/400. Кабельна лінія від ТП - 1330 в бік ТП-571 є резервною.

Живлення водозабірних насосів проводиться через шинні роз'єднувачі типу РВ-6/400 і вакуумні вимикачі з РУ-6 кВ. Живлення РУ-0,4 кВ здійснюється від двох силових трансформаторів типу ТМ -1000 через автомати типу АВМ-15 та роз'єднувачі Р-2515 на дві секції шин РУ-0,4.

Живлення водозабірних насосів проводиться через шинні роз'єднувачі типу РВ-6/400 і вакуумні вимикачі з РП-6 кВ. Живлення РП-0,4 кВ здійснюється від двох силових трансформаторів типу ТМ-1000 через автомати типу АВМ-15 та роз'єднувачі Р-2515 на дві секції шин РП-0,4. Струм змінний (для основних споживачів) і постійний (для зв'язку та сигналізації). Основними споживачами електроенергії є електричні двигуни насосів, прилади електроосвітлення, а також автоматика регулювання та безпеки. В таблиці 1.6 наведено помісячне споживання електроенергії.

Таблиця 1.6 – Помісячне споживання електроенергії за 2021 рік

| Місяці | Показання споживання, кВт·год |
|----------|----------------------------------|
| січень | 1430 |
| лютий | 2168 |
| березень | 45407 |
| квітень | 562102 |
| травень | 700780 |
| червень | 1052633 |
| липень | 1020620 |
| серпень | 885200 |
| вересень | 230500 |
| жовтень | 38082 |
| листопад | 6116 |
| грудень | 2036 |

Для наочності зводимо значення в графік (рисунок 1.1).

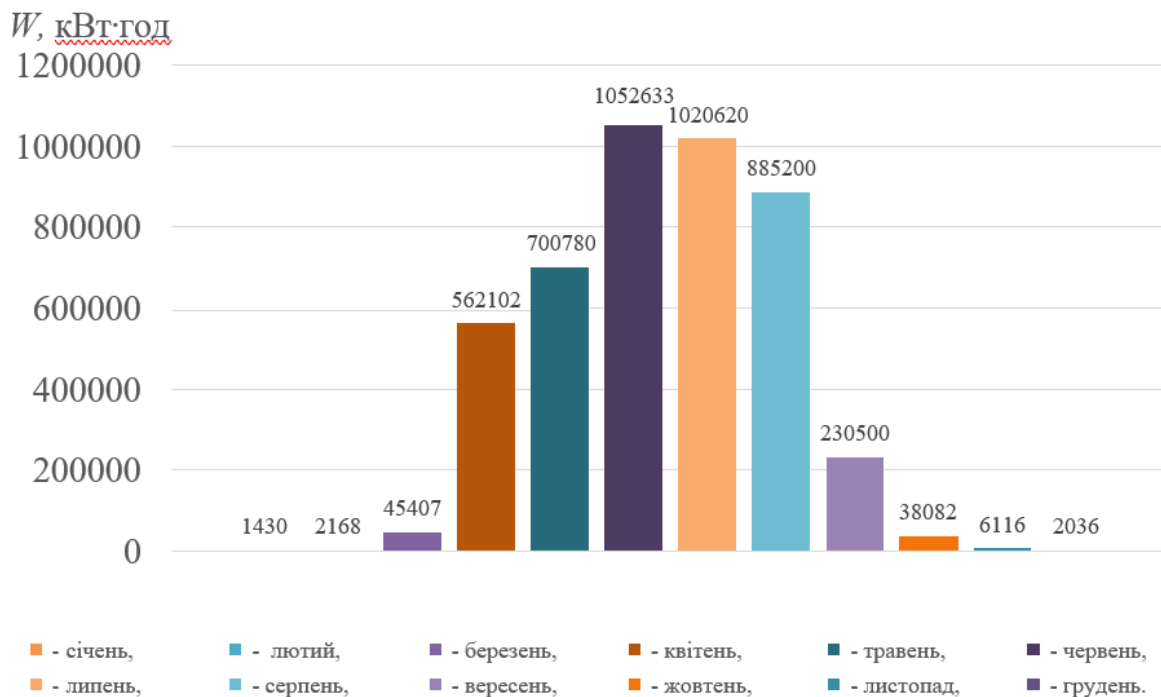


Рисунок 1.1 – Щомісячне споживання електроенергії за 2021 рік

Значення коефіцієнтів попиту і використання максимального навантаження, а так само розрахункове число годин роботи машин на рік представлені у таблиці 1.7. Також в таблиці 1.8 представлені результати розрахунку споживаної електроенергії по групам обладнання.

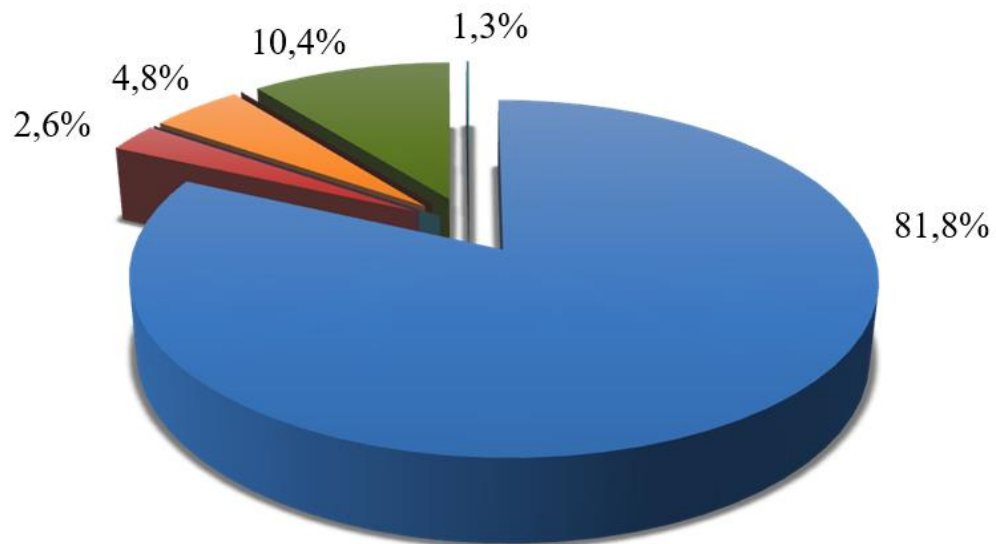
Таблиця 1.7 – Витрати електроенергії обладнанням насосної станції

| № з.п. | Найменування обладнання | Потужність, кВт | Кількість, штук | Час роботи, год | Коефіцієнт використання устаткування, квик | Річне споживання, кВт |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|-----------------------|
| Насосне обладнання | | | | | | |
| 1.1 | Водозабірні Д-630-90 | 250 | 4 | 4350 | 0,70 | 3045000 |
| 1.2 | Водозабірні Д-320-50 | 75 | 2 | 4200 | 0,70 | 441000 |
| 1.3 | Допоміжні К-90/35 | 15 | 2 | 5304 | 0,70 | 111384 |
| 1.4 | Допоміжні КС-12-50 | 5,5 | 1 | 900 | 0,70 | 3465 |
| 1.5 | Перекачуючи Д 320/50а | 55 | 3 | 3865 | 0,70 | 446407,5 |
| 1.6 | Дренажні 4К-8 | 18 | 3 | 5432 | 0,70 | 205329,6 |
| Освітлення насосної станції | | | | | | |
| 2 | ДРЛ - 125 | 1,25 | 54 | 3600 | 0,80 | 295488 |

Таблиця 1.8 – Річне споживання електроенергії обладнанням насосної

| Стаття споживання | Найменування обладнання | Річне споживання, кВт | Річне споживання, % |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Освітлення | Ртутні лампи | 5529 | 1,3 |
| Обладнання насосної станції | Водозабірні | 3486000 | 81,8 |
| | Допоміжні | 205329,6 | 4,8 |
| | Дренажні | 114849 | 2,6 |
| | Перекачуючі | 446407,5 | 10,4 |

Для наочності побудуємо гістограму (рисунок 1.2) споживання електроенергії у частках.



■ - водозабірні, ■ - допоміжні, ■ - дренажні, ■ - перекачуючі ■ - освітлення

Рисунок 1.2 – Споживання електроенергії на насосній станції за 2021 рік

Виходячи з розрахунків проведеного аудиту, можна стверджувати, що насосні агрегати водозабірної групи, доля яких склала 81,8% являються найбільшими споживачами електроенергії на насосній станції, 10,4 % – споживає перекачуюча група, на освітлення витрачається близько 1,3 %, дренажна група споживає – 2,6 %, а допоміжна – 4,8 % від загального споживання електроенергії.

2 ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ

2.1 Режими роботи та основні характеристики насосних установок

За статистичними даними приблизно 25 % електроенергії, щовиробляється споживають приводи відцентрових насосів і вентиляторів, що використовуються в різних галузях. Основна частина цих електроприводів діє в вентиляційних установках, насосних станціях, теплових електростанціях, промислових підприємствах і міських системах холодного і гарячого водопостачання, очисних спорудах, а також у опалювальних системах [5]. Навмисна зміна подачі і напору насосів відповідно до режиму роботи системи водопостачання або водовідведення називається регулюванням.

Більш раціональне використання водних ресурсів, а також значна економія енергетичних витрат останнім часом пробудили значний інтерес до загальновідомого ресурсозбереження – регульованого електроприводу насосів. Поява на світовому ринку відносно недорогих ПЧ на сучасній елементній базі дозволяє нерегульовані АД переводити на регульовані.

В умовах практичного водоспоживання потрібно часта зміна подачі води через велику кількість різнорідних споживачів [5]. Велика відмінність в кількості споживаної води в ході доби вимагає зрівнюванню водопостачання і водоспоживання для будь-якого моменту часу. При цьому потрібно не тільки забезпечити необхідні витрати, а й зберегти високий ККД в зоні регулювання [6,7]. Існуючі способи регулювання роботи відцентрових насосів, як було розглянуто раніше, діляться на два основних види [8]:

Регулювання частоти обертання робочого колеса - установка насосних агрегатів з регульованим приводом, в цьому випадку при значній зміні напорів у мережі доцільно застосування частотного регулювання, а при невеликих - за допомогою регулятора напруги. При виборі типу регулювання слід мати на увазі, що частотне регулювання здійснюється в більш широкому діапазоні, ніж при регулюванні напруги, але останнім значно дешевше.

Дросельне регулювання – дроселювання напірної лінії насоса. Прикриваючи або відкриваючи затвор, змінюють крутизну характеристики $H-Q$ трубопроводу, яка залежить від його гідравлічного опору.

Розглянемо доцільність використання частотного регулювання насосних агрегатів для зміни подачі покажемо на прикладі відцентрового насоса К45/30 в разі його використання на станціях другого підйому [9].

На рисунку 2.1 наведена характеристика насоса, що показують залежність напору H , подачі Q і витрат потужності P при $n_l=n_n$, взяті з літератури [7]. Криві $H=f(Q)$ і $P=f(Q)$ при умовах $n_3 < n_2 < n_1$ принципово підуть нижче заводських характеристик, що показано на рисунку 2.1

Покажемо, що метод частотного регулювання має більшу перевагу. Це важливо, тому що при автоматизації насосних агрегатів головним завданням є забезпечення подачі необхідної кількості води при заданому напорі і мінімальній витраті електроенергії [10]. Нехай характеристика трубопроводу проходить через точку A характеристики $H=f(Q)$ знятої при $n_l=n_n$ і нехай за умовами роботи системи потрібно забезпечити витрата води від величини Q_1 до Q_3 . Як припущення вважаємо, що ця зміна відбувається в зоні незначної зміни ККД [10].

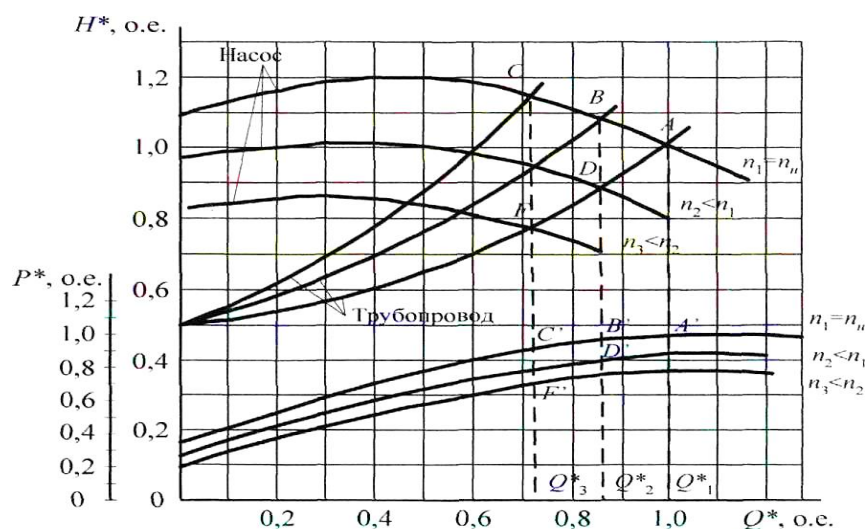


Рисунок 2.1 – Характеристики насосу і трубопроводу при різних способах регулювання

При дроселюванні робочими точками є A , B , C , при частотному

регулюванні A , D , F . Цим точкам відповідають подачі Q^*_1 , Q^* , Q^* . На характеристиках споживаної потужності $P = f(Q)$ відзначимо точки відповідні робочим. На рисунку 2.1 представлені залежності економії споживаної потужності ΔP при частотному і дросельному регулюванні продуктивності насосного агрегату (ΔQ – зменшення подачі насосного агрегату в порівнянні з Q^*_1).

Метод частотного регулювання має більшу перевагу в порівнянні з дросельним регулюванням продуктивності насоса. Так, наприклад, зменшення подачі на 30% дає економію споживаної енергії при дросельному регулюванні 9%, а при частотному 30%. Крім того, при частотному регулюванні тиск не перевищує номінального значення, що веде до збільшення терміну служби обладнання [11].

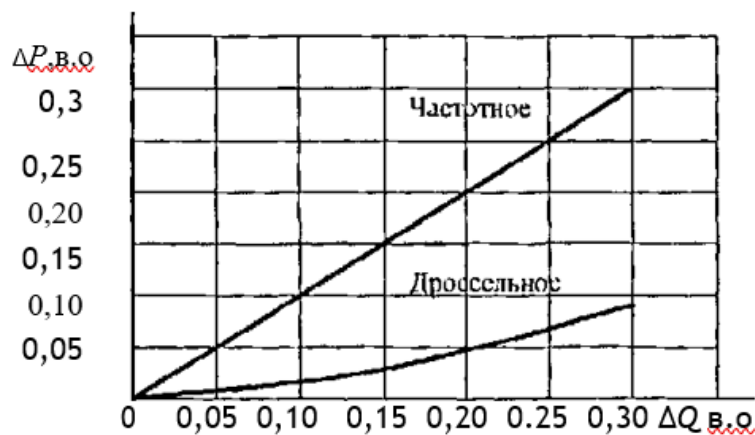


Рисунок 2.2 – Залежність економії споживаної енергії $\Delta P = f(\Delta Q)$ при різних способах регулювання

Розглянуті аспекти використання регульованого електроприводу на основі АД в насосних агрегатах дозволяють зробити висновок, що саме його використання дозволяє економити електричну енергію, а також збільшувати термін служби обладнання [9]. Однак слід також враховувати, що основні втрати електроприводу відбуваються в асинхронному двигуні.

З метою вдосконалення насосних агрегатів, застосовуваних в водопостачанні, необхідно забезпечити енергозбереження при їх роботі. Для

цього є два ефективних шляхи: створення енергоефективних АД і застосування регульованих електроприводів з АД. Регульовані електроприводи мають суттєві переваги, такі як можливість економії електричної енергії, за рахунок регулювання частоти обертання і збільшення терміну служби обладнання. Регулювання частоти обертання насосних агрегатів може бути забезпечено застосуванням сучасних напівпровідникових перетворювачів, які в даний час розроблені на базі силової електроніки. Для забезпечення широкого діапазону регулювання частоти обертання слід застосовувати частотно-регульовані електроприводи на основі АД. При невеликому діапазоні регулювання частоти обертання доцільно застосовувати асинхронний електропривод з регулюванням напруги статора. Однак найбільший енерго- і ресурсозберігаючий ефект можливо отримати при використанні частотно-регульованого електроприводу на основі енергоефективних АД, що проектується для конкретних умов експлуатації в складі насосних агрегатів.

Енергозбереження, в будь-яких сферах господарювання людини, було і залишається вагомим енергетичним ресурсом. Проблема енергозбереження повинна стати, одним із пріоритетних напрямків діяльності людини. При цьому діяльність по здійсненню-енергозбереження повинна бути реальною, тобто направленою на впровадження нових технологій. На даний момент розробка і впровадження регульованого електроприводу на основі АД в області водопостачання є одним з найперспективніших та економічно виправданих напрямків з усіх енергозберігаючих технологій. Розглянуті особливості використання регульованого електроприводу на основі АД в насосних агрегатах дозволяють зробити висновок, що покращені показники енергоефективності дозволять знизити споживану електричну енергію не тільки за рахунок регулювання частоти обертання в насосному агрегаті, але і за рахунок зниження втрат в самому двигуні.

Розглянемо можливість економії спожитої енергії приводами насосів, на (рисунку 2.3) зображена узагальнена технологічна схема системи, що забезпечує подачу води в мережу споживачів с постійним заданим тиском [6,7]. Основними елементами схеми є запірні технологічні засувки Z_1 і Z_2 , насосний агрегат P ,

зворотний клапан K_1 , фільтр води Φ і регулюючий клапан K_2 . У цій схемі можна, виділити і основні технологічні параметри, серед яких: H_1 – напір, створюваний джерелом подачі води, H_p – напір, одержуваний після насосного агрегату, H_k – напір перед регулюючим клапаном, H_c – напір в мережі споживачів і $Q_{1,2,3}$ – витрати води споживачів мережі. Крім того, можна виділити напір H , що розвивається насосним агрегатом, а також втрати напору на елементах системи, розташованих між насосним агрегатом P і мережею споживачів: DH_1 – втрати напору на засувці Z_1 і водяному фільтрі та K_2 – втрати напору на регулюючому клапані.

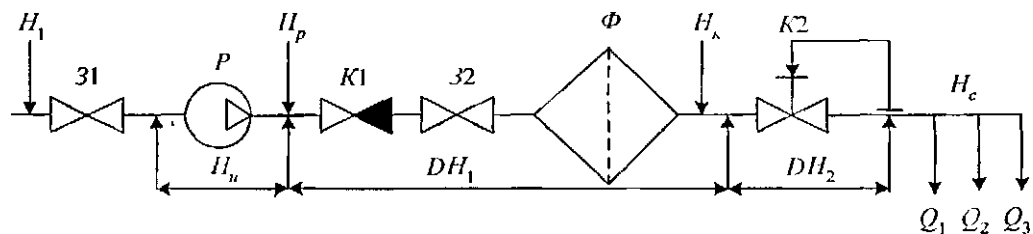


Рисунок 2.3 – Приклад спрощеної технологічної схеми з насосним агрегатом: Z_1, Z_2 – запірні технологічні засувки; P – насосний агрегат; K_1 – зворотний клапан; Φ – фільтр; K_2 – регулюючий клапан

Реальні характеристики насоса можуть бути отримані тільки при спільному аналізі характеристик насосної установки і мережі, на яку він працює [5]. Характеристика мережі $H = f(Q)$ показує, який напір повинен бути створений насосом на початку мережі для переміщення по ній певної кількості рідини або газу. Цей напір складається з двох складових: $H_{ст}$ – статичного напору, що йде на підйом рідини на певну висоту і $H_{д}$ – динамічного напору, необхідного для подолання гідродинамічного опору мережі.

Точка перетину А характеристики насоса (крива 1) з характеристикою мережі (крива 2) визначає режим роботи насоса, тобто ті значення R і Q , з якими буде працювати установка (рисунок 2.4) [6].

Характеристика мережі з постійними параметрами характеризується втратами напору на внутрішнє тертя, тертя потоку об стінки робочої мережі і на

подолання місцевих опорів пропорційних квадрату швидкості потоку або пропорційних квадрату продуктивності насоса. При цих умовах характеристика мережі буде визначатися рівнянням (крива 2 на рисунку 2.2):

$$H = H_{cm} + RQ^2, \quad (2.1)$$

де R – коефіцієнт опору мережі.

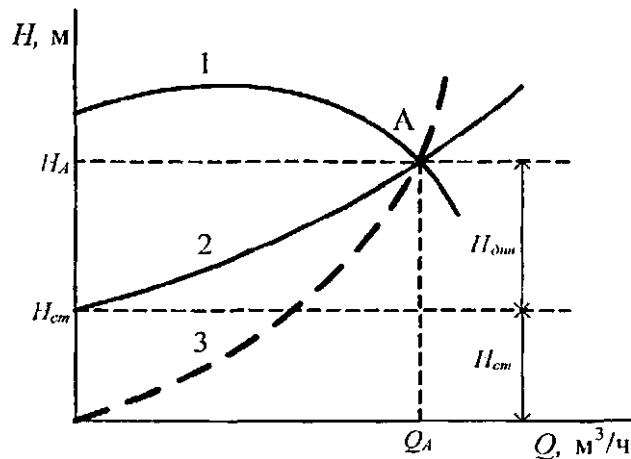


Рисунок 2.4 – Робота насоса на мережу: 1 – характеристика насоса; 2 – характеристика мережі при наявності протитиску; 3 – характеристика мережі без протитиску

Величина коефіцієнта опору мережі залежить від протяжності мережі, поперечного перерізу трубопроводу, і в'язкості рідини, шорсткості стінок трубопроводу, від наявності додаткових опорів (колін, зворотних клапанів, засувок та інших елементів конструкцій) [5]. При відсутності протитиску рівняння характеристики мережі має вигляд характеристики 3 на рисунку 2.5:

$$H = R \cdot Q^2. \quad (2.2)$$

Зміна продуктивності насоса може здійснюватися впливом на мережу (наприклад – дроселюванням), на сам насос (наприклад, поворот лопаток насоса) і на привід насосної установки (регулювання швидкості). Перші два способи називають кількісним регулюванням, третій – якісним регулюванням.

При регулюванні продуктивності впливом на мережу характеристика насоса залишається незмінною (крива 1, рисунок 2.5), а характеристика мережі змінює положення (криві 2, 3, 4, рисунок 2.5) і при повністю закритій засувці відповідає вертикальному положенню характеристики мережі, тобто $Q = 0$ [5]. Характеристики описуються виразом (2.1), за умови $R2 < R3 < R4$.

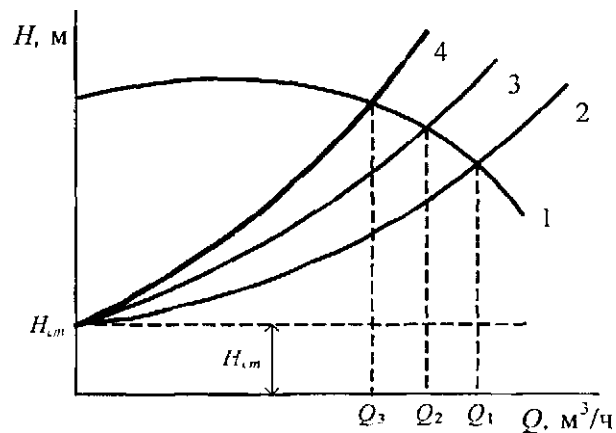


Рисунок 2.5 – Регулювання продуктивності насоса дроселюванням:

1 – характеристика насоса; 2, 3, 4 – характеристики мережі при наявності протитиску

При впливі на насос шляхом повороту лопаток робочого колеса, або направляючого апарату, характеристика мережі залишається незмінною, а характеристики насоса повертаються за годинниковою стрілкою при зниженні витрат [5].

При регулюванні продуктивності зниженням швидкості характеристики насоса зміщуються вниз (рисунок 2.6), а характеристика мережі залишається незмінною. Безліч характеристик насосного агрегату можуть бути знайдені за допомогою формул приведення записаних в відносних одиницях [5,6]:

$$Q^* = Q_i^* \left(\frac{n_H}{n_i} \right); H^* = H_i^* \left(\frac{n_H}{n_i} \right)^2; P^* = P_i^* \left(\frac{n_H}{n_i} \right)^3$$

У разі частотного регулювання продуктивності насоса зміна швидкості обертання має сенс тільки до певної величини, при якій напір насоса стає дорівнює статичному натиску ($H_{ст}$). Продуктивність насоса падає при цьому до

нуля ($Q = 0$). При подальшому зниженні продуктивності робота двигуна буде марною.

З характеристик видно, що діапазон частотного регулювання при наявності статичної напору $H_{ст}$ обмежується його величиною. Зокрема, при частоті обертання n_4 (рисунок 2.6) напір насосного агрегату буде недостатній для подолання протитиску мережі. При цьому в механічній системі даного механізму повинен спрацювати зворотний клапан. Таким чином, при наявності статичної напору виникають певні обмеження по діапазону частотного регулювання і можливостям енергозбереження при експлуатації даного механізму [5,6]. Тільки регулювання частоти обертання робочого колеса насосної установки дозволяє реалізувати енергозберігаючу технологію подачі рідини.

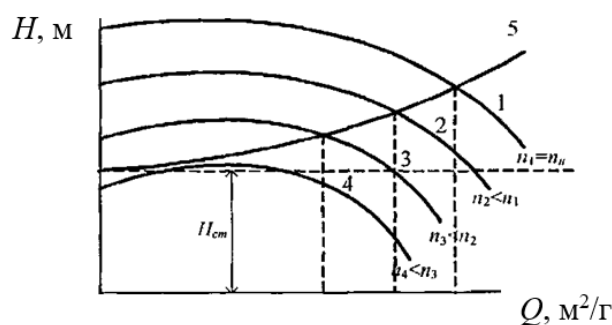


Рисунок 2.6 – Регулювання продуктивності зміною швидкості робочого колеса: 1, 2, 3, 4 – характеристики насоса; 5 – характеристика мережі при наявності протитиску

Розглянувши можливі варіанти зміни продуктивності насосного агрегату, можна зробити висновок, що в області водопостачання найбільш економічно вигідним є заміна нерегульованого електроприводу на регульований електропривод на основі енергоефективних АД. Використання регульованого електроприводу дозволяє реалізовувати різні режими роботи системи, при цьому забезпечуючи економічність роботи насосного агрегату на основі приводу з АД. При зміні частоти обертання робочого колеса насосного агрегату досягається не тільки економія електричної енергії, а й економія за рахунок зниження позавиробничих втрат води і зниження тиску в трубопроводі. Розгляд

основних характеристик і режимів роботи насосних агрегатів дозволяє зробити висновок, що регулювання частоти обертання насосів є перспективним способом вдосконалення енергозберігаючої технології подачі води. Цей спосіб має суттєві переваги в порівнянні з регулюванням дроселюванням або зміною параметрів насоса.

2.2 Регульований асинхронний електропривод з регулюванням напруги у статорній обмотці

Найбільш раціональним методом підтримки постійного тиску, регулювання витрати води (продуктивності насоса) є метод зміни частоти обертання, тобто використання регульованого електроприводу. Залежно від техніко-економічних показників при переобладнанні існуючих нерегульованих електроприводів насосів на базі АД з короткозамкненим ротором на регульований електропривод найбільшою мірою задовольняють вимоги по енергозбереженню приводні системи з регулятором напруги і з ПЧ [8, 9].

У період, коли ПЧ не були широко поширені в силу їх високої вартості і відсутності надійної елементної бази, регулювання частоти обертання електроприводу здійснювалося за рахунок зміни напруги на статорі, тобто використання систем з регуляторами напруги. Даний спосіб регулювання частоти обертання асинхронного двигуна відрізняється простотою, однак має низку обмежень і особливостей його застосування.

Момент обертання асинхронного електродвигуна пропорційний квадрату напруги, що підводиться до електродвигуна [8]. З цієї причини зміна напруги на затискачах статора змінює форму механічної характеристики електродвигуна. Однією з ефективних можливостей підвищення надійності і економічності роботи електроприводів насосів з АД є використання тиристорних регуляторів напруги [8].

Механічні характеристики АД при зміні величини напруги живлення U_1 можуть бути також знайдені з виразу [8, 10]:

$$M_{\partial\sigma} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_1 + \frac{X_2'}{s} \right)^2 \right]},$$

- де U_1 – фазна напруга;
 R_1 – активний опір обмотки фази статора;
 R_2 – наведене активний опір обмотки ротора;
 X_1 – індуктивний опір розсіювання обмотки статора;
 X_2 – наведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора;
 n_0 – синхронна частота обертання ротора;
 ω_0 – синхронна кутова швидкість;
 s – ковзання.

Регулювання частоти обертання АД шляхом зміни напруги обмотки статора пов'язане з можливістю перегріву статора і ротора і може проводитися лише за певних умов:

- при малому діапазоні зниження швидкості щодо номінальної;
- при зниженні, щодо номінального, моменту опору на валу двигуна;
- при використанні двигуна з підвищеним ковзанням.

Якщо момент опору на валу двигуна залишається постійним і рівним номінальному $M_c = M_n$, то з ростом ковзання АД буде перегріватися. Тому регулювання швидкості АД зміною напруги статора можливо в тому випадку, коли момент опору M_c при зниженні швидкості істотно менше номінального моменту. Властивістю зниження моменту опору зі зменшенням швидкості мають вентиляторні навантаження [5]:

$$M_c = M_0 + b \cdot n^k, \quad (2.5)$$

- де M_0 – момент від сил тертя;
 b – коефіцієнт;
 k – показник ступеня,
 $k > 2$ – є функцією параметрів мережі;
 $H_{ст}$ і R – характеристик насосного агрегату $H-Q$.

Особливість механічної характеристики насоса дозволяє йому працювати на ділянці механічної характеристики АД з ковзаннями, більшим критичного, що практично недосяжно для інших видів навантажень. Однак робота з великими ковзаннями викликає і великі втрати в роторі АД [5]. При зміні напруги значення критичного ковзання не змінюється, тому максимальний момент при будь-яких змінах напруги відповідає одному і тому ж значенню ковзання, рівному приблизно 0,1 ... 0,2. Цим визначається порівняно вузький діапазон регулювання по частоті обертання, який може забезпечити цей спосіб регулювання. Діапазон регулювання не перевищує 20 ... 25% номінального значення частоти обертання [5].

При регулюванні швидкості зміною напруги вдається знизити енергоспоживання в 1,5...2 рази. Економія електроенергії буде тим більше, чим менше момент двигуна, в порівнянні з номінальним, і чим більше працює двигун з недовантаженням [8].

Використання системи регулювання частоти обертання електроприводуна основі регуляторів напруги дозволяє вирішувати питання енергозбереження, даний метод показує свою ефективність при необхідному малому діапазоні зміни частоти обертання. При цьому вартість регуляторів напруги набагато нижче вартості ПЧ. Однак даний метод виявляється не вигідним при широкому діапазоні регулювання, так як при певному рівні зниження напруги живлення відбувається перегрів обмотки статора.

2.3 Частотно-регульований асинхронний електропривод

Більш раціональним методом підтримки постійного тиску, регулювання витрати води (продуктивності насоса) є використання ПЧ. Синхронна частота обертання трифазного АД пропорційна частоті живильної мережі, що дозволяє регулювати частоту обертання двигуна плавною зміною частоти і напруги поданої на статор. Це найбільш економічний спосіб плавного регулювання швидкості АД, так як двигун у всьому діапазоні регулювання частоти обертання насосного агрегату працює з малою частотою ковзання ротора.

Способи частотного регулювання швидкості електроприводів змінного струму з короткозамкненим АД знаходять все більше застосування в галузях водопостачання [10]. Перетворення змінної напруги мережі живлення в змінну напругу з регульованою частотою, напругою і струмом здійснюють ПЧ. Так як при частотному регулюванні величина індуктивного опору двигуна змінюється пропорційно частоті, то для збереження будь-якого вихідного параметра незмінним необхідно зі зміною частоти змінювати напругу на статорі за певними законами. Такі закони вперше були сформульовані академіком М.П. Костенко [8].

Для насосів найбільш оптимальною характеристикою є значення максимальної продуктивності при максимальній швидкості і номінальній напрузі на статорі, коли обмежується струм статора або сумарні втрати в двигуні на рівнях, передбачених паспортними даними двигуна [6]. Для забезпечення стійкої роботи електродвигуна, обмеження його перевантаження по струму і магнітному потоку, підтримки високих енергетичних показників ПЧ повинен підтримувати певне співвідношення між вхідними та вихідними параметрами, залежними від виду механічної характеристики насоса. Ці співвідношення виходять з рівняння закону частотного регулювання [6]:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}.$$

Для насосів, що працюють без статичного напору, тобто тих, в яких механічна характеристика описується рівнянням квадратної параболи, тобто в рівнянні (2.5) показник ступеня $K = 2$, має дотримуватися співвідношення:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_2}{f_2^2} = \text{const}$$

Для насосів, що працюють зі статичним напором, дотримуватися більш складне співвідношення:

$$\frac{U_1}{f_1^{1+k}} = \frac{U_2}{f_2^{1+k}},$$

де k – показник ступеня в рівнянні механічної характеристики насоса.

У більшості випадків, в насосних установках використовуються ПЧ промислового виконання, що забезпечують співвідношення [6]:

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_2}{f_2} = \text{const}$$

Тоді момент асинхронного двигуна при частотному регулюванні будевизначатися співвідношенням [8]:

$$M_{\text{дв}} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 f_{1*}^2 \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{лн}} f_{1*}} \right)^2 \right]},$$

де $X_{\text{лн}}$ – індуктивний опір контуру намагнічування;

$f_{1*} = \frac{f_1}{f_{1n}}$ – відносне значення частоти напруги живлення.

До теперішнього моменту в світовій практиці широко використовується частотно-керований асинхронний електропривод зі стандартними короткозамкненими АД загального застосування. Це обумовлено появою великої кількості сучасних і відносно недорогих ПЧ, побудованих на сучасній елементній базі [11].

Використання ПЧ для регулювання продуктивності насосних агрегатів на даний момент є найбільш економічно вигідним і доцільним, регульований електропривод є перспективним способом, енергозбереження, а також економії водних ресурсів. Можливість подібного регулювання покращує динаміку роботи електродвигуна і, тим самим, підвищує надійність і довговічність роботи технологічного обладнання. При цьому система дозволяє автоматично змінювати частоту обертання електродвигуна таким чином, щоб підтримувати на заданому рівні різні параметри системи, наприклад, тиск, витрата, температуру, рівень рідини. За рахунок оптимального управління електродвигуном в залежності від навантаження, споживання електроенергії в насосних агрегатах знижується на 40...50%. Однак найбільший енерго- і ресурсозберігаючий ефект можливо отримати при використанні частотно-регульованого електроприводу на основі,

що проектується для конкретних умов експлуатації в складі насосних агрегатів. Розгляд основних характеристик і режимів роботи насосних агрегатів дозволяє зробити висновок, що регулювання частоти обертання насосів є перспективним способом вдосконалення енергозберігаючої технології подачі води. Цей спосіб має суттєві переваги в порівнянні з дроселюванням.

Для забезпечення широкого діапазону регулювання частоти обертання слід застосовувати привід на основі ПЧ. При невеликому діапазоні регулювання частоти обертання доцільно застосовувати асинхронний електропривод з регулюванням напругою статора.

Таким чином, метою даного дослідження є створення моделі оцінки економічної ефективності роботи АД в регульованих електроприводах насосних агрегатів при реалізації різних способів регулювання.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

3.1 Особливості роботи асинхронних двигунів в насосних установках

Основною характеристикою, на основі якої ведеться розрахунок робочої точки при різних частотах обертання, є механічна характеристика насосного агрегату. Розглянемо отримання механічної характеристики насосного агрегату на прикладі насосного агрегату К160/20а. Характеристики насоса (рисунок 3.1), що показують взаємозалежність напору H , подачі Q , потужності P_n насоса при номінальній частоті обертання двигуна $n_n = 1450$ об/хв визначені по каталогу [6].

Різні характеристики насосного агрегату отримують з формул приведених у попередньому розділі [5, 6]. Характеристика трубопроводу з постійними параметрами буде визначатися рівнянням [12 - 14]. На рисунку 3.1 представлені характеристики трубопроводу при наступних значеннях $H_{ст} = 0, H_{ст1} = 0,25H_n, H_{ст2} = 0,5H_n, H_{ст3} = 0,15H_n$.

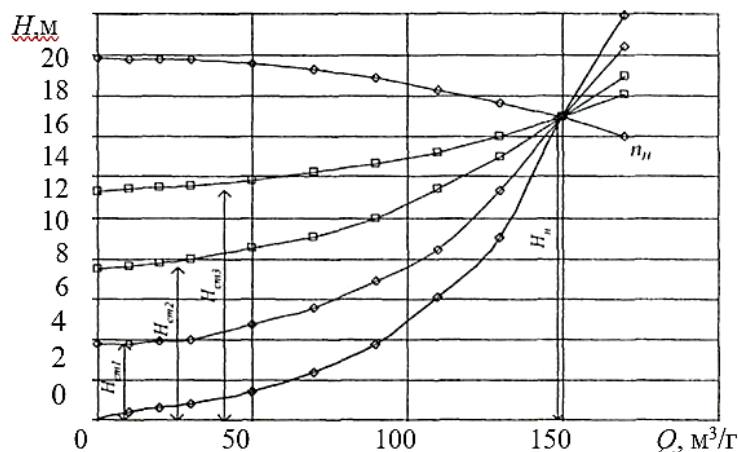


Рисунок. 3.1 – Графік роботи насосного агрегату К 160/20а та трубопроводу

Одна з основних особливостей насосних агрегатів, як навантажувальних машин для електроприводу, становить механічна характеристика – $M_c = f(n)$. У багатьох джерелах [6, 13 - 16] вказується на те, що механічні характеристики насосного агрегату носять вентиляторний характер.

Як було зазначено вище, на характер механічної характеристики істотно впливає вид характеристики мережі, а саме співвідношення між статичної та динамічної складовими необхідного напору. Механічна характеристика насосного агрегату може бути отримана при спільному аналізі характеристик трубопроводу і насосного агрегату при різних частотах обертання АД. Вид механічної характеристики залежить також від величини Нст. Момент опору насосного агрегату визначається відповідно до виразу [5]:

$$M_c = 9,565 \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot n},$$

де ρ – щільність рідини, що перекачується, в нашому випадку води;

g – прискорення вільного падіння;

η_n – ККД насосного агрегату.

Характеристика трубопроводу з постійними параметрами характеризується втратами напору на внутрішнє тертя, тертя потоку об стінки робочої мережі і на подолання місцевих опорів пропорційних квадрату швидкості потоку або пропорційних квадрату продуктивності насоса. Величина коефіцієнта опору мережі залежить від протяжності мережі, поперечного перерізу трубопроводу, і в'язкості рідини, шорсткості стінок трубопроводу, від наявності додаткових опорів (колін, зворотних клапанів, засувки та інших елементів конструкції).

Характеристика насоса для номінальної частоти обертання, отримана з довідкових даних, може бути перерахована для будь-якої частоти обертання за формулами подібності [5, 6], тоді характеристики насоса при зміні частоти обертання можуть бути представлені у вигляді:

$$H = H_0 \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 + Q^2 \frac{H_0 - H_n}{Q_n^2},$$

де n_n – номінальна частота обертання механізму;

H_0 – статичний напір, створюваний при номінальній частоті обертання і продуктивності рівній нулю;

H_n – номінальний напір насоса;

Q_n – номінальний витрата насоса.

На рисунку 3.2 представлені характеристики насосного агрегату одержувані при зміні частоти обертання, а також характеристика трубопроводу при $H_{ст2} = 0,5H_n$. Точки перетину даних характеристик визначають робочі точки насосного агрегату.

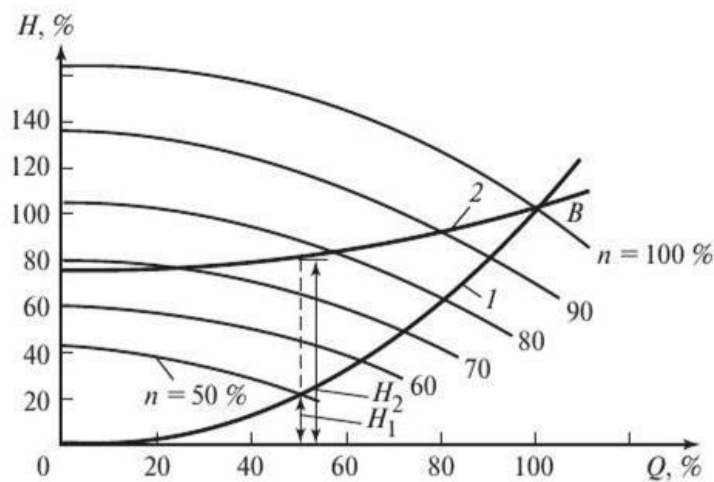


Рисунок 3.2 – Характеристики насосного агрегату К 160 / 20а та трубопроводу при зміні частоти обертання

У загальному випадку момент опору насосного агрегату визначається відповідно до виразу [4 - 7, 12 - 16]:

$$M_c = 9,565 \frac{P_n}{n}.$$

Потужність насосного агрегату визначається з каталожних даних шляхом перерахунку за допомогою формул подібності. Знаючи робочі значення витрати води насосного агрегату, графічним способом можна визначити

чисельні значення потужності, споживаної насосним агрегатом [15]. Аналітичним способом потужність, споживана насосним агрегатом, може бути визначена за виразом (4.5). Використовуючи формулу (3.10) може бути визначено момент опору або механічна характеристика насосного агрегату [12,13]. Для насосів характерна залежність моменту опору на валу від швидкості, оскільки насоси зазвичай працюють на протитиск, то ця залежність більш різка, ніж квадратична, характер залежностей представлений на рисунок 3.3.

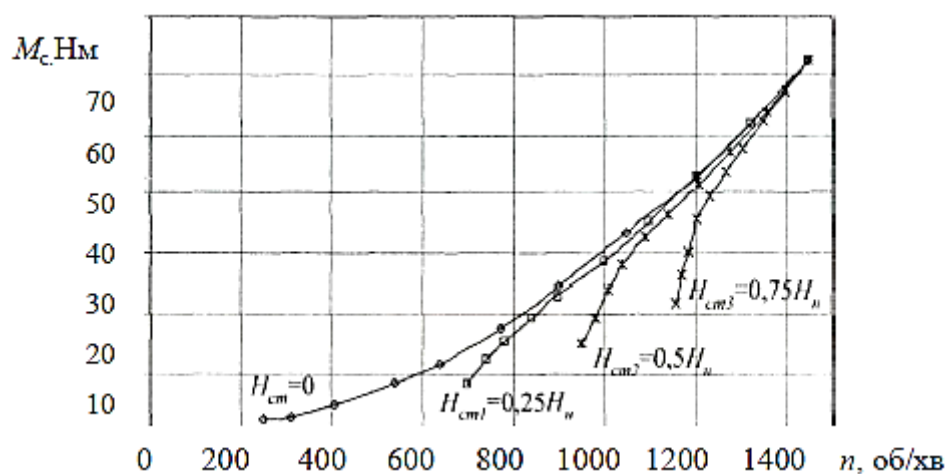


Рисунок 3.3 – Механічні характеристики насосного агрегату К 160/20а при різних значеннях статичної складової напору

При регулюванні швидкості від нуля до мінімальної залежність носить квадратичний характер, потім коли насос розвине натиск, достатній для подолання статичного напору, характер залежності $M_c = f(n)$ змінюється і залежить від величини статичної складової напору. Аналітичну залежність можна отримати, використовуючи апроксимуючу характеристику насосного агрегату. Як стає зрозуміло з рисунку 3.3 механічні характеристики багато в чому залежать від величини статичної складової напору, а також від виду характеристики трубопроводу, у випадку з насосним агрегатом залежність виявляється більш складною [11 - 14].

Однак при роботі системи на підтримку постійного значення напору $H = H_n = \text{const}$ в мережі механічна характеристика насосного агрегату виявляється

відмінною від отриманих вище характеристик. На рисунку 3.4 представлена механічна характеристика насосного агрегату, як навантажувальної машини асинхронного двигуна при підтримці постійного напору $H = H_n = \text{const}$ при $H_{ст2} = 0,5H_n$.

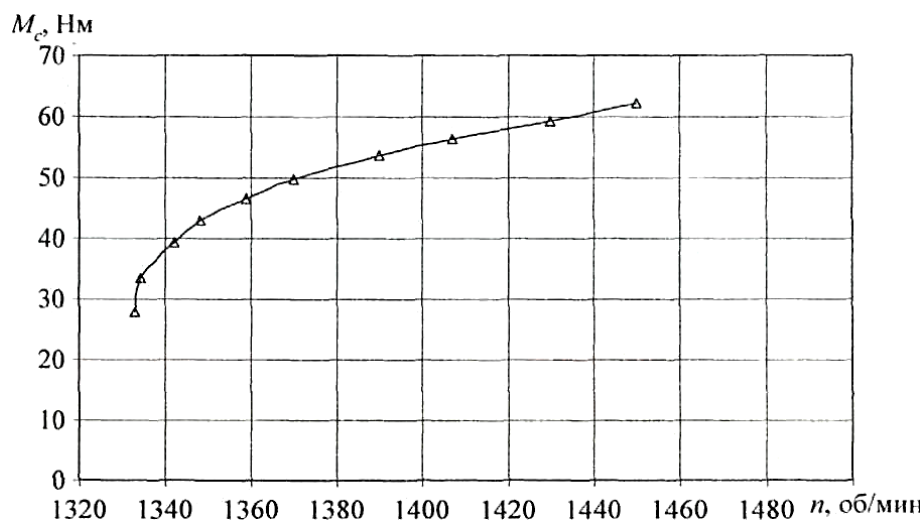


Рисунок 3.4 – Механічна характеристика насосної установки

Аналіз механічних характеристик показує, що в міру зростання статичної складової напору скорочується діапазон регулювання, при зниженні швидкості момент зменшується інтенсивніше, ніж це визначалося квадратичною залежністю (рисунок 3.3) [15, 16]. Таким чином, можна зробити висновок, що неприпустимо визначати робочі параметри насосів просто шляхом використання формул подібності, розрахунок механічних характеристик повинен проводитися з урахуванням реального режиму роботи насосної установки. Механічна характеристика насосного агрегату при підтримці постійного напору в мережі є складнішою, ніж квадратична залежність, і залежить від величини $H = H_n = \text{const}$. Механічні характеристики насосних агрегатів, отримані за представленою; послідовності дій, використовуються для подальших розрахунків регульованого електроприводу насосних агрегатів на основі АД середньої потужності: Механічні характеристики необхідні для точного визначення робочої точки АД.

3.2 Оцінка економічної ефективності енергозбереження в асинхронних двигунах насосних установок

Основних причин неекономічної роботи насосної установки є невідповідність робочих параметрів насоса (напору H , подачі Q) режиму роботи системи. Регулюванням частоти обертання насоса його робочі параметри приводяться у відповідність з режимом роботи водопровідної мережі. Насосні агрегати застосовуються в багатьох галузях народного господарства, тому застосування асинхронного регульованого електроприводу для них є актуальною проблемою, вирішення якої пов'язане з енергозбереженням. У цих агрегатах АД є основним перетворювачем електричної енергії в механічну але в даний час йому приділяється недостатньо уваги [5,6,16,17]. При експлуатації АД обов'язково повинні проводитися економічні розрахунки, що дозволяють судити про економічну ефективність проведених покращень [18]. Економічні розрахунки при експлуатації АД проводяться для визначення економічної ефективності і техніко-економічного обґрунтування вибору оптимального варіанта. Однією з перших була розроблена методика оцінки економічної ефективності, яка представлена в книзі Бойко Є. П., Гаїнцева Ю. В., Ковальова Ю. М. [17]. Дана методика за основу приймає розрахункову величину сумарних витрат, що припадають на термін експлуатації. Використовується ця методика при експлуатації АД для оцінки економічної ефективності. Критерієм доцільності створення і впровадження нових розробок є економічний ефект. Річний економічний ефект являє собою сумарну економію всіх виробничих ресурсів (живої праці, матеріалів, капітальних вкладень). Визначення економічного ефекту ґрунтується на зіставленні наведених витрат по базовій і новій техніці [17].

Наведені витрати являють собою суму собівартості і нормативного прибутку:

$$Z = C + E_n K,$$

де Z – наведені витрати на одиницю продукту;

C – собівартість одиниці продукції;

K – питомі капітальні вкладення у виробничі фонди;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

При визначенні річного економічного ефекту повинна бути забезпечено порівняння нових і базових машин. При експлуатації машини критерієм економічної ефективності при виборі найкращого варіанта служать найменші приведені витрати на розробку, впровадження, виготовлення і експлуатацію двигуна за нормативний термін окупності [17]:

$$Z_m = K(C_d + C_r) + C_a T_n + C_{\text{комп}},$$

де $K = 1 + T_n (\rho_{\text{ам}} + \rho_0)$ – коефіцієнт, що враховує амортизаційні відрахування і витрати на обслуговування при експлуатації;

$\rho_{\text{ам}}$ – амортизаційні відрахування ($\rho_{\text{ам}} = 0,065$);

ρ_0 – відносні витрати на обслуговування при експлуатації ($\rho_0 = 0,069$);

C_d – виробнича собівартість двигуна;

$C_{\text{комп}}$ – витрати на необхідні виробничі площі, введені в розрахунок для обліку компактності двигуна;

C_r – витрати на пристрої, що компенсують.

Наведена вище методика розрахунку визначення економічної ефективності експлуатації АД володіє такою важливою перевагою, як простота і доступність у використанні. Однак дана методика не враховує особливості, що накладаються на машину областю застосування АД. Питання енергозбереження все частіше вирішуються сьогодні за допомогою високих технологій. Одне з головних напрямків тут займає впровадження в різні галузі промисловості і комунальне господарство регульованих електроприводів на основі ПЧ. Тому розглянемо методику розрахунку економічної ефективності, розроблену Лезновим Б.С., Воробійової Н.П., Чебанова В.Б. та ін., яка визначає

саме економічну ефективність, що отримується при впровадженні частотно регульованого електроприводу в порівнянні з нерегульованим [7].

Застосування регульованого електроприводу в насосних агрегатах, з одного боку, веде за собою зменшення втрат електроенергії, з іншого боку, вимагає додаткових капітальних витрат [19]. Тому доцільність застосування енергозберігаючих заходів, таких як впровадження регульованого електроприводу в насосні агрегати завжди визначається порівнянням наведених витрат базового і нового. В якості нового варіанту приймається насосний агрегат, оснащений регульованим електроприводом, а в якості базового - насосний агрегат, який працює з постійною частотою обертання. Для розрахунку економічного ефекту від зниження витрати споживаної електроенергії розрахуємо потужність, споживану насосним агрегатом з електричної мережі [13, 19]:

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_{уст}}$$

де ρ – щільність води;

Q – подача;

H – напір на виході насоса;

$\eta_{уст} = \eta \cdot \eta_n$ – ККД нерегульованого насосного агрегату;

$\eta_{уст} = \eta \cdot \eta_n \cdot \eta_{пч}$ – ККД регульованого ПЧ насосного агрегату;

$\eta_{дв}$ – ККД асинхронного двигуна;

η_n – ККД насосного агрегату;

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

Середньодобова економія електроенергії при незмінному водоспоживанню в базовому (нерегульованому) і регульованому ПЧ режимах [17]:

$$P = \frac{\rho \cdot Q_{сут} \cdot H_{нрен}}{102 \cdot \eta_{уст}} - \frac{\rho \cdot Q_{уст.пен} \cdot H_{пен}}{102 \cdot \eta_{уст.пен}}$$

де $Q_{\text{сут}}$ – добова подача води насосним агрегатом;

$Q_{\text{сут,реп.}}$ – добова подача води насосним агрегатом при регульованому електроприводі;

$H_{\text{нрп}}$ – напір на виході насоса в нерегульованому режимі;

$H_{\text{рп}}$ – напір на виході насоса в регульованому режимі;

$\eta_{\text{уст.нрп}}$ – ККД насосного агрегату в нерегульованому режимі;

$\eta_{\text{уст.рп}}$ – ККД насосного агрегату в регульованому режимі.

Тоді річний економічний ефект від зниження споживання електроенергії:

$$E = C_e \cdot 365 \cdot P_{\text{доп.}}$$

де C_e – тариф на електроенергію, вартість за 1 кВт-год спожитої електроенергії.

Термін окупності витрат на закупівлю і монтаж ПЧ при експлуатації насосного обладнання:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E}$$

де K – капітальні витрати на придбання ПЧ і його монтаж.

Крім того, застосування систем автоматичного управління з регульованим електроприводом знижує витрату води за рахунок стабілізації тиску в системі подачі і розподілу води, а також збільшує термін служби і міжремонтних періодів, зменшує витрати на придбання, монтаж і обслуговування запірної арматури [17].

Дана методика визначає економічну ефективність, що отримується при впровадженні не враховує зміну параметрів машини при зміні частоти

обертання при регулюванні продуктивності. Друга методика не враховує параметри АД, тобто не приймає до розгляду механічні характеристики АД, одержувані в результаті зміни частоти обертання і механічні характеристики насосного агрегату в якості навантаження АД. Кожна з розглянутих методик не охоплює повною мірою всі елементи регульованого електроприводу. Перша методика загальнопромислового виконання. Тому необхідно додатково розглянути особливості роботи асинхронного двигуна в насосних агрегатах. Для комплексної оцінки; економічної ефективності роботи насосних агрегатів була створена математична модель оцінки економічної ефективності роботи АД у складі регульованого електроприводу насосних агрегатів. Ця: модель повинна враховувати основні: електромеханічні процеси, що відбуваються як в АД, так і в перетворювачі. Модель охоплює електромагнітні і економічні розрахунки, що дозволяють оцінити економічність роботи асинхронної машини в складі електроприводу. Для оцінки економічної ефективності роботи АД в складі насосного агрегату слід повністю враховувати особливості: процесу експлуатації регульованого електроприводу насосного агрегату, до складу якого входить насос, ПЧ або перетворювач напруги і АД загальнопромислового виконання [18].

У вихідних даних для математичної моделі можуть бути використані дані геометрії АД. Керуючись заданими геометричними розмірами машини, характеристиками насоса і трубопроводу представляється можливим визначити економічну ефективність при різних законах регулювання.

Цикл навантаження визначає дані по продуктивності насосного агрегату, який проміжок часу працює насосний агрегат при певній продуктивності (рисунки 3.5) [17]. Основою для отримання циклу навантаження служить добовий графік водоспоживання.

На основі даних циклу навантаження і механічної характеристики насосного агрегату проводиться розрахунок оцінки економічної ефективності. Розрахунок здійснюється на базі математичної моделі.

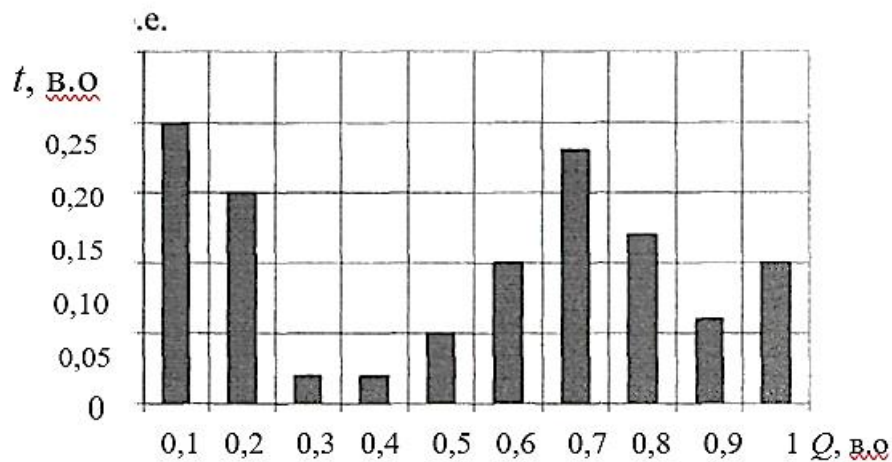


Рисунок 3.5 – Цикл навантаження насосного агрегату

Регулювання частоти обертання електроприводу насосного агрегату здійснюється за допомогою наступних законів регулювання напруги на статорі, при постійній частоті $f = 50$ Гц; одночасна зміна частоти і напруги по законам $U/f = \text{const}$, $U/f^2 = \text{const}$, $U/f^{2.5} = \text{const}$, $U/f^8 = \text{const}$.

Кількість спожитої електроенергії за рік [11,18]:

$$\sum W = \sum P_n \cdot t ,$$

де t – час роботи насосного агрегату;

$\sum P_n$ – потужність спожита насосним агрегатом при певному значенні подачі насосного агрегату.

Потужність, споживана насосним агрегатом, визначається за виразом [6, 7]:

$$P_n = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{пч}} ,$$

Електричні втрати в асинхронному двигуні розраховують окремо для обмоток статора і ротора, так для обмотки статора [18], при цьому для різних законів регулювання продуктивності насосних агрегатів маємо різні значення втрат:

$$P_{cm} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot R_l ,$$

де m_1 – число фаз обмотки статора;

I_1 – струм фази обмотки статора;

R_1 – активний опір фази обмотки статора.

При цьому струм в обмотці фази статора може визначатися з виразу, приймаючи, що струм намагнічування I_0 є чисто реактивним:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

де

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{кн} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2}},$$

де I_2' - наведене значення струму обмотки ротора;

R_2' - наведене значення активного опору фази обмотки ротора;

f_{1*} – відносне значення частоти напруги живлення;

$X_{кн}$ – індуктивний опір короткого замикання;

s – ковзання.

Відносне значення напруги живлення:

$$f_{1*} = \frac{f_{1i}}{f_{1н}},$$

де f_{1i} – частота напруги живлення при реалізації різних законів управління;

$f_{1н}$ – номінальне значення частоти напруги живлення рівне 50 Гц. Наведене

значення струму в обмотці ротора обчислюється по:

$$I_2' = \frac{U_{1i}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{лн} \cdot f_{1*}}\right)^2}},$$

де U_{1i} – величина напруги при реалізації різних законів управління;

$X_{лн}$ – індуктивний опір контуру намагнічування.

Тоді, роблячи необхідні перетворення, отримаємо такий вираз для визначення електричних втрат в обмотці статора:

$$P_{cm} = m_1 \cdot R_1 \left(I_0^2 + \frac{U_{1i}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}}\right)^2}} + 2 \cdot I_0 \cdot \frac{U_{1i}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}}\right)^2}} \cdot \frac{X_{\mu H} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2}} \right)$$

Для ротора електричні втрати розраховуються в такий спосіб [17]:

$$P_p = m_2 \cdot I_2^2 \cdot R_2 = Z_2 \cdot I_2^2 \cdot R_2 ,$$

$$P_p = m_2 \cdot I_2^2 \cdot R_2 ,$$

де m_2 – число фаз обмотки ротора;

I_2 – струм фази обмотки ротора;

R_2 - активний опір фази обмотки ротора.

Тоді, роблячи необхідні перетворення, отримаємо вираз для визначення електричних втрат в обмотці ротора:

$$P_p = m_1 \cdot R_2' \cdot \frac{U_{1i}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}}\right)^2}}$$

Постійні втрати розраховують відповідно до [18]:

$$P_{пост} = P_{мех} + P_{см},$$

де $P_{мех}$ – механічні втрати;

$P_{см}$ – втрати в сталі магнітопроводу машини.

Механічні втрати визначаються за формулою:

$$P_{\text{мех}} = (1 \div 1,3) \cdot \left(\frac{2\pi f_{1i}}{1000} \right)^2 \cdot D_a^2,$$

де D_a – зовнішній діаметр статора;

f_{1i} – частота напруги живлення при реалізації різних законів керування.

Втрати в сталі магнітопроводу поділяються на основні та додаткові:

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.доб}} + P_{\text{ст.осн}},$$

Основні втрати в сталі визначаються виразом:

$$P_{\text{ст.доб}} = \rho_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f_{1i}}{50} \right)^\beta (1,6 \cdot B_a^2 \cdot m_a + 1,8 \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1}),$$

де $\rho_{1,0/50}$ – питомі втрати в сталі магнітопроводу, залежать від марки сталі;

β – показник ступеня, залежить від марки сталі;

B_{z1}, B_a – індукції в ярмі і зубцях сердечника статора;

m_a, m_{z1} – маса ярма і зубців сердечника статора. Сума втрат може бути визначена за формулою [18]:

$$\Sigma P = P_{\text{пост}} + P_{\text{ст}} + P_{\text{р}},$$

Коефіцієнт корисної дії може бути визначений за формулою [18]:

$$\eta_{\text{дв}} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1},$$

де P_1 – споживана з мережі потужність, яка визначається як:

$$P_1 = P_{2н} + \sum P.$$

Коефіцієнт потужності визначається як [18]:

$$\cos\varphi_{дв} = \frac{I_{1a}}{I_1},$$

де I_1 – струм фази обмотки статора;

I_{1a} – активна складова струму фази обмотки статора.

Економія спожитої електричної електроенергії за рік при впровадженні РЕП замість НРЕП може бути розрахована за формулою на основі формули:

$$\Sigma W_{ек} = \Sigma W_{нреп} - \Sigma W_{реп},$$

де $\Sigma W_{нреп}$ – кількість електроенергії спожитої за рік у разі нерегульованого електроприводу;

$\Sigma W_{реп}$ – кількість електроенергії спожитої за рік у разі регульованого електроприводу насосного агрегату.

Вартість електроенергії споживаної насосним агрегатом за рік експлуатації:

$$C_{ее} = \Sigma W \cdot C_{ее},$$

де $C_{ее}$ – вартість електроенергії за 1 кВт спожитої енергії, приймаємо 2,2 грн.

Тоді економія спожитої електроенергії за рік може бути визначена за формулою:

$$E = C_{ее.нреп} - C_{ее.реп},$$

Для визначення відсотка економії електроенергії при впровадженні регульованого ЕП замість нерегульованого приводу на основі базової машини скористаємося формулою:

$$E_{\%} = \frac{C_{\text{еє.нрєп}} - C_{\text{еє.рєп}}}{C_{\text{еє.нрєп}}} \cdot 100\%.$$

Також на основі отриманих даних будуються поліноміальні залежності втрат електричної енергії в АД від напруги, що подається $P_{\text{ст}} = f(U_1)$, $P_p = f(U_1)$, $P_{\text{пост}} = f(U_1)$. Дані поліноми будуються для варіантів регульованого електроприводу при реалізації різних законів управління. Отримані поліноміальні залежності використовуються для проведення аналізу ефективності використання регульованого електроприводу при реалізації різних законів регулювання [6, 17].

У нерегульованих електроприводів насосних установок відсутня можливість зниження споживання електроенергії при зменшенні технологічних навантажень. Названа особливість експлуатації насосних установок є причиною підвищеного енергоспоживання. Перехід до систем регулювання частоти обертання призведе до збільшення терміну служби насосів і їх приводних двигунів, а також до помітної економії електроенергії, у багатьох випадках до 30 ... 40% [18].

Створена математична модель оцінки економічної ефективності РЕП насосних агрегатів і виконана в сучасному середовищі програмування MathCAD. Підводячи підсумки, можна констатувати наступне: створено математичну модель оцінки економічної ефективності роботи АД в складі РЕП насосних агрегатів, визначені допущення, розглянуті варіанти для актуальної вартості електричної енергії.

3.3 Оцінка ефективності роботи в електроприводі з регулюванням напруги статора

Однією з важливих проблем при експлуатації асинхронного електроприводу для насосних агрегатів є забезпечення економічності

регулювання подачі. Так, наприклад, в насосних агрегатах систем водопостачання та водовідведення лише через неекономічні способи регулювання продуктивності втрачається до 15% і більше споживаної електроенергії. Ефективний засіб вирішення зазначеної проблеми - це використання регульованого по швидкості електроприводу [5]. Більшість насосних агрегатів в водопостачанні оснащені одношвидкісними трифазними АД з короткозамкненим ротором. При цьому найдоцільніше регулювати частоту обертання за допомогою ПЧ.

Однак в окремих, випадках може виявитися ефективним використання регулювання швидкості за допомогою, регуляторів напруги. Коли АД, працює з навантаженням; менше номінального значення, його ККД падає внаслідок того, що створюваний магнітний потік в машині занадто великий по відношенню до магнітному потоку, достатнього для створення крутного-моменту; необхідного для подолання моменту навантаження [15]. АД загальнопромислового виконання; працює з повним навантаженням, володіє відносно високим ККД, що досягає 80 ... 96% [14,15]. Однак ККД двигуна різко падає, якщо навантаження знижується. Падіння ККД особливо відчутно коли навантаження знижується до значень менше 50% від номінального:

Насправді електродвигуни досить рідко працюють на повну потужність, переважна більшість працює з навантаженням, значно нижчим за номінальне. Це пов'язано з тим, що в більшості випадків при проектуванні електроприводу приймається запас потужності; а також через природні коливання навантаження в умовах конкретного технологічного процесу:

Для аналізу економічної ефективності проведемо розрахунок, економії електроенергії для регульованого ЕП насосного агрегату при зміні напруги статора, до складу якого входить насос К 45/30 [8], АД 4А112М2 і перетворювач напруги. При цьому трубопровід працює зі статичним опором мережі $H_{cm} = 0,5H_n$. В таблиці 3.1 і 3.2 представлені дані насосного агрегату К 45/30, а також дані поперечної геометрії АД.

Таблиця 3.1 – Данні насосного агрегату

| Тип насосного агрегату | P , кВт | n , об/хв | Типорозмір двигуна | Подача Q , м ³ /с | Напір H , м |
|------------------------|-----------|-------------|--------------------|--------------------------------|---------------|
| К 45/30 | 7,5 | 2950 | 4A112M4 | 45 | 31 |

Л

Таблиця 3.2 – Дані поперечної геометрії 4A112M2

| D_a , мм | D , мм | L_δ , мм | δ , мм | Z_1 | $b_1; b_2; h_{n1}; b_{sh1}; h_{sh1}$, мм | Z_2 | $b_{1r}; b_{2r}; h_{n2}; b_{sh2}; h_{sh2}$, мм | $a_{k1}; b_{k1}$, мм | $d_{iz}; d_{np}$, мм | W_1 | u_p | $K_{зан}$ |
|------------|----------|-----------------|---------------|-------|---|-------|---|-----------------------|-----------------------|-------|-------|-----------|
| 191 | 120 | 125 | 0,3 | 36 | 8,1; 5,9; 16,8; 3,5; 0,5 | 34 | 5,1; 1,8; 21,4; 1,0; 0,5 | 9,3; 23,0 | 1,14; 1,06 | 156 | 26 | 0,694 |

Розраховані механічні характеристики АД. На рисунку 3.6 представлена механічна характеристика насосного агрегату. Як видно з рисунку 3.6, навантаження на валу двигуна носить вентиляторний характер, тобто статичний момент опору на валу пропорційний квадрату швидкості, що дозволяє змінювати частоту обертання АД при зміні напруги живлення статора.

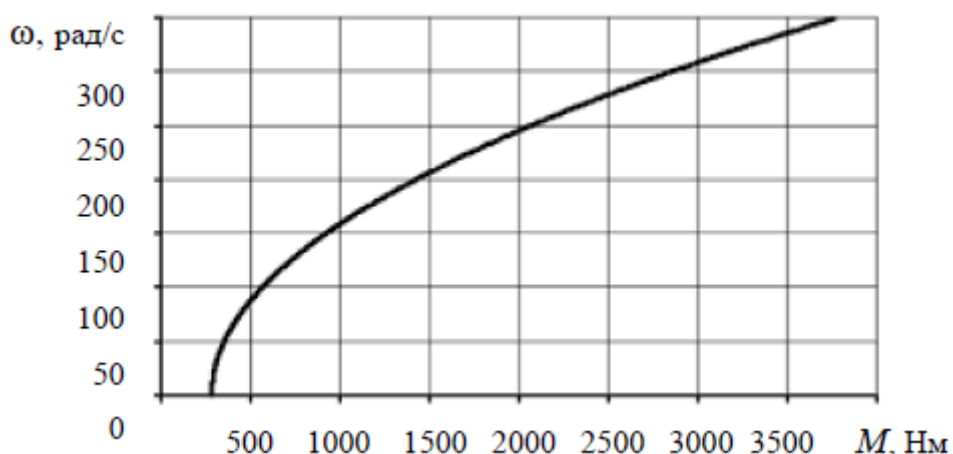


Рисунок 3.6 – Механічна характеристика насосної установки

На рисунку 3.7 і 3.8 представлені енергетичні характеристики АД при зміні напруги живлення, на рисунку 3.7 представлені характеристики ККД в

залежності від зміни напруги, а на рисунку 3.8 характеристики коефіцієнта потужності в залежності від зміни напруги живлення. Коефіцієнт потужності і ККД машини носять постійно падаючий характер, що зумовлено зростанням електричних втрат, а також зміною співвідношення споживаних активної і реактивної потужностей.

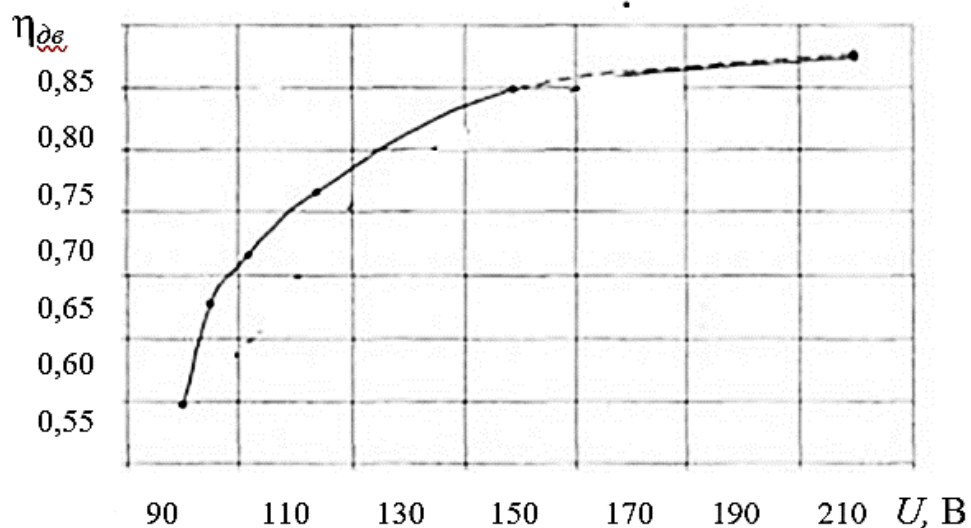


Рисунок 3.7 – ККД АД при зміні напруги статора

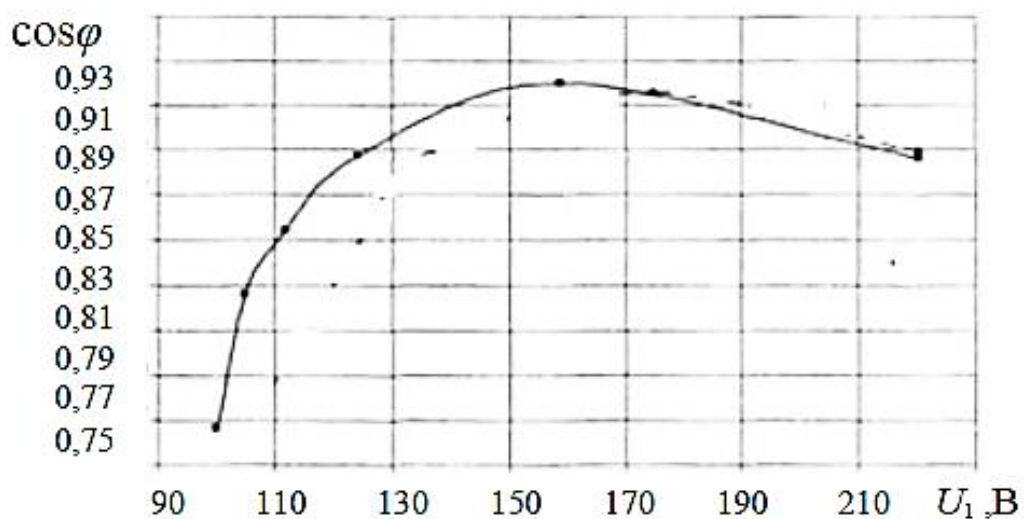


Рисунок 3.8 – Коефіцієнт потужності АД при зміні напруги

На рисунку 3.9 наочно видно, що при зниженні продуктивності насосного агрегату або при зниженні напруги, що подається відбувається зростання загальної суми втрат. Основне зростання втрат пов'язаний зі

збільшенням електричних втрат в обмотках статора і ротора, зменшення постійних втрат не робить істотного впливу на загальну суму втрат, так як електричні втрати в статорі і роторі АД мають набагато більше зростають при зменшенні напруги живлення.

При зміні напруги нижче 130 В для АД виявляється неможливим при класі нагрівостійкості (F) розглянутих машин. У таблиці 3.3 наведені результати економічного розрахунку для насосного агрегату. на основі АД.

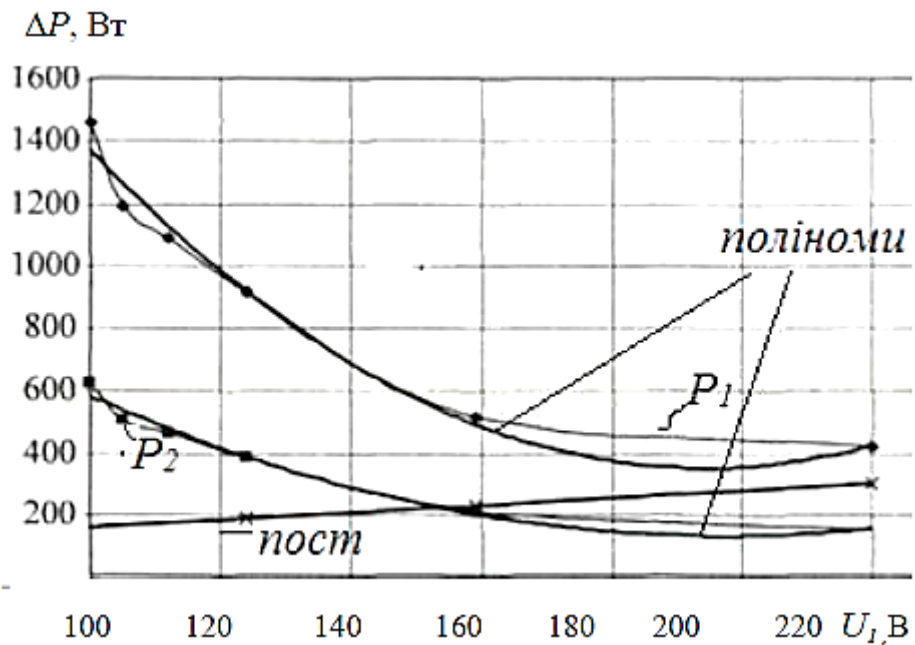


Рисунок 3.9 – Втрати АД при зміні напруги АД

Таблиця 3.3 – Економічні параметри насосного агрегату при $C_{\text{ср}} = 2,2$ грн.

| Період експлуатації | $\Sigma W_{\text{нрп}}$ | $\Sigma W_{\text{рп}}$ | $\Sigma W_{\text{ек}}$ | $C_{\text{ср.нрп}}$ | $C_{\text{ср.рп}}$ | E |
|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|------|
| | кВт·г | кВт·г | кВт·г | грн. | грн. | грн. |
| 1 рік | 58692 | 58046 | 646 | 129123 | 127702 | 1422 |

На рисунку 3.10 зображено гістограму з порівнянням вартості електроенергії при НРЕП та РЕП.

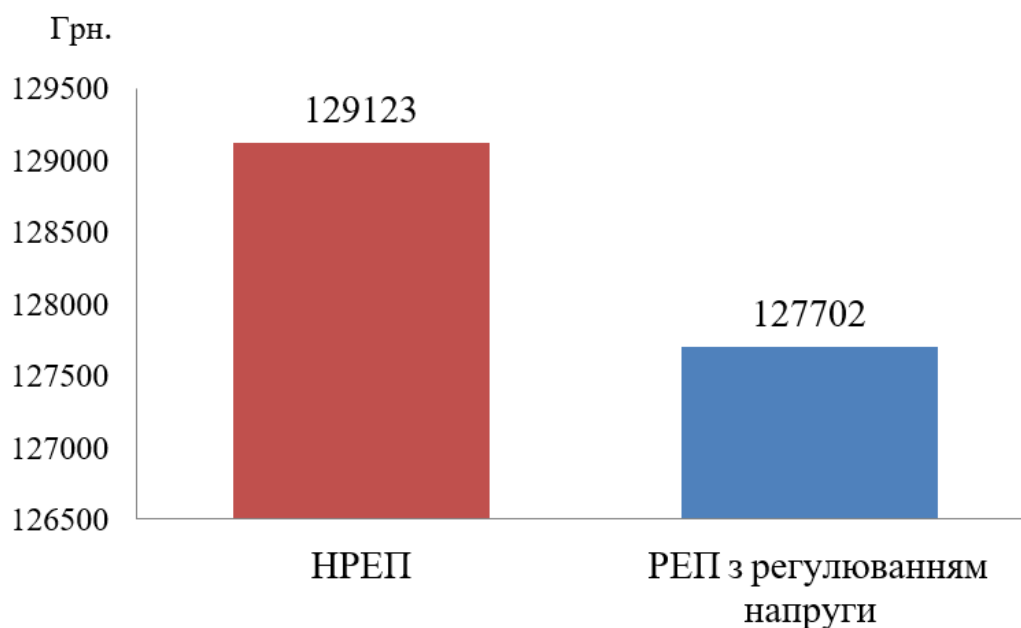


Рисунок 3.10 – Порівняння вартості електроенергії при НРЕП та РЕП з регулюванням напруги статора

Таким чином, проведена оцінка економічної ефективності роботи АД у складі електроприводу насосних агрегатів при регулюванні напруги живлення. Використання даного способу регулювання частоти обертання для насосних агрегатів буде ефективним тільки при зміні частоти обертання у вузькому діапазоні, діапазон регулювання частоти обертання не перевищує 10%. Даний спосіб регулювання виявляється найбільш доцільним в порівнянні з частотним регулюванням, якщо потрібно забезпечити вузький діапазон зміни частоти обертання.

3.4 Оцінка ефективності роботи електроприводу з ЧР при різних законах регулювання

ЧРЕП використовується в різних областях діяльності, проте в області насосів перехід на регульований електропривод відбувається досить повільно. Раніше це було пов'язано, в першу чергу, з низькою надійністю ПЧ, а в нинішній час з небажанням підприємств здійснювати капітальні вкладення в

енергозбереження.

При змінній частоті живлення АД можуть працювати при різних законах регулювання, залежними від характеру навантаження і типу системи [5]. У ЧРЕП для регулювання або стабілізації швидкості використовують різні співвідношення між частотою і напругою [6]. Вибір конкретного співвідношення залежить від характеру моменту навантаження. Для насосних агрегатів можливе застосування різних законів регулювання, в загальному вигляді закон управління може бути записаний як $U/f^{1+2} = \text{const}$ [5]. Оцінка енергетичних і економічних параметрів за цими законами, розглянута на базі загальнопромислових АД 4А132М4. При цьому насосний агрегат працює на мережу зі статичним опором $H_{\text{ст}} = 0,5H_{\text{н}}$.

У таблиці 3.4 представлені дані насосного агрегату, які використовуються для проведення аналізу економічної ефективності частотно-регульованого асинхронного електроприводу при різних законах регулювання.

Таблиця 3.4 – Дані насосного агрегату

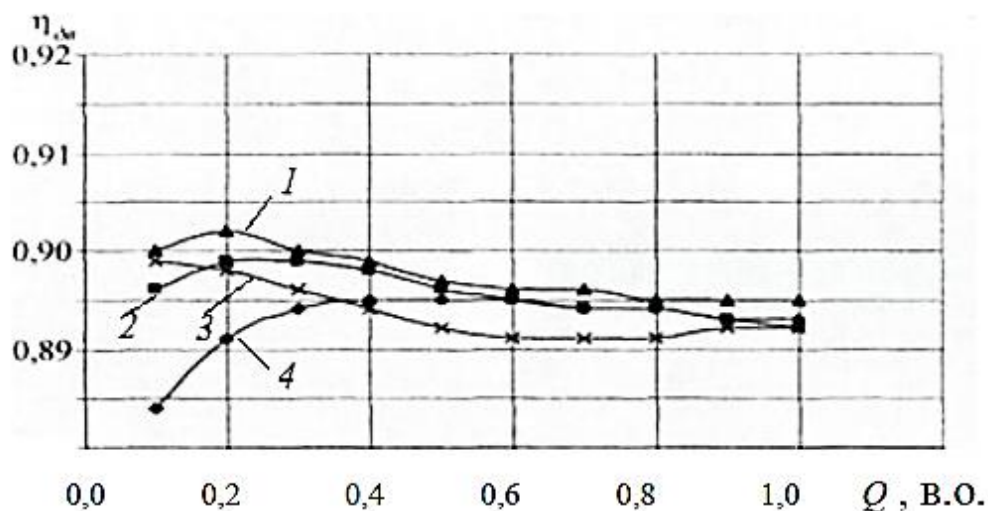
| Тип насосного агрегата | P , кВт | n , об/хв | Типорозмір двигуна | Q , м ³ /с | H , м |
|------------------------|-----------|-------------|--------------------|-------------------------|---------|
| К 160/20а | 11,0 | 1450 | 4А132М4 | 150 | 15 |

У таблиці 3.5 представлені дані поперечної геометрії машини.

Таблиця 3.5 – Данні поперечної геометрії АД 4А132М4

| D_a , мм | D , мм | L_{δ} , мм | δ , мм | Z_1 | $b_1; b_2; h_{n1}; b_{sh1}; h_{sh1}$, мм | Z_2 | $b_{1r}; b_{2r}; h_{n2}; b_{sh2}; h_{sh2}$, мм | $a_{k1}; b_{kl}$, мм | $d_{i3}; d_{np}$, мм | W_1 |
|------------|----------|-------------------|---------------|-------|---|-------|---|-----------------------|-----------------------|-------|
| 225 | 145 | 160 | 0,3 | 36 | 9,2; 6,1; 17,8; 3,5; 0,9 | 34 | 6,0; 2,2; 24,7; 1,0; 0,5 | 10,5; 29,0 | 1,12; 1,04 | 96 |

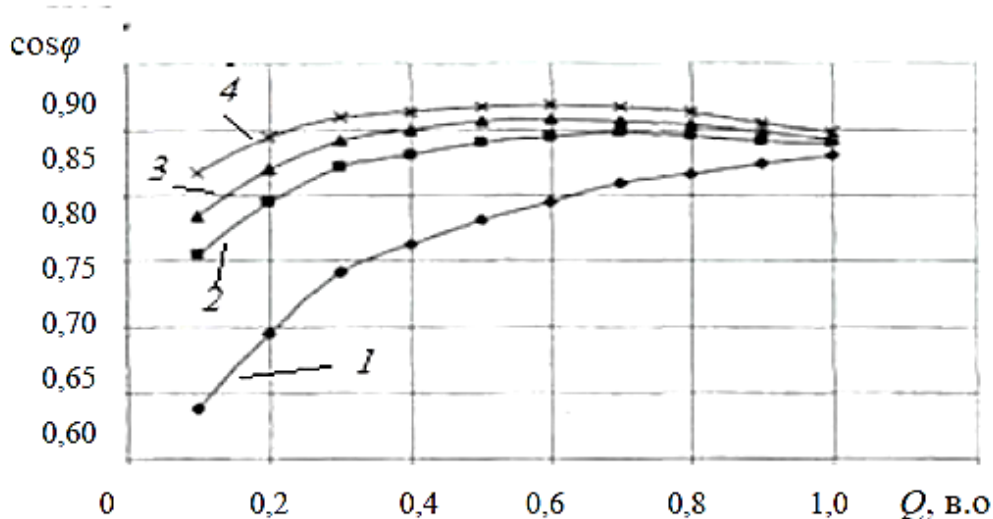
За результатами оцінки економічної ефективності роботи АД у складі регульованого електроприводу насосних агрегатів були отримані енергетичні та економічні показники АД при реалізації різних законів регулювання. На рисунку 3.11 представлений графік ККД АД $\eta_{дв} = f(Q)$ реалізації різних законів регулювання при експлуатації в складі приводу загальнопромислового АД для насосних агрегатів К 160/20а.



1 – $U/f = \text{const}$; 2 – $U/f^2 = \text{const}$; 3 – $U/f^{2.5} = \text{const}$; 4 – $U/f^3 = \text{const}$

Рисунок 3.11 – Залежність ККД від продуктивності насосного агрегату при різних законах регулювання для загальнопромислового К 160/20а

На рисунку 3.12 зображені характеристики коефіцієнта потужності асинхронного двигуна $\cos Q = f(Q)$ одержуваного при реалізації різних законів регулювання частоти обертання для насосного агрегату К 160 / 20а [18]. При цьому коефіцієнт потужності (рисунок 3.12) виявляється більшим при збільшенні показника; ступеня в законі регулювання, що пов'язано зі зміною співвідношення між споживаним активним і реактивним струмом. Коефіцієнт потужності, виявляється найбільшим при $U/f^3 = \text{const}$. що пов'язано з перерозподілом споживаної активної та реактивної потужності.



1 – $U/f = \text{const}$ 2 – $U/f^2 = \text{const}$ 3 – $U/f^{2.2} = \text{const}$ 4 – $U/f^3 = \text{const}$

Рисунок 3.12 – Залежність коефіцієнта потужності від продуктивності насосного агрегату при різних законах регулювання для загальнопромислового К 160 / 20а

У таблиці 3.6 представлені дані по втратах в АД для насосного агрегату К 160 / 20а, що виникають в процесі експлуатації при зміні; частоти обертання, дані наведені при; реалізації різних законів регулювання. Згідно з даними з таблиці 3.6 при зменшенні продуктивності насосного агрегату або частоти обертання АД; відбувається зниження втрат.

Середнє перевищення; температури обмотки статора при реалізації різних законів регулювання при використанні АД представлено в таблиці 3.7 для насосного агрегату К 160 / 20а.

Таблица 3.6 – Втрати в асинхронному двигуні насосного агрегату К 160 / 20а

| Q в.о. | $U/f=\text{const}$ | | | | $U/f^2=\text{const}$ | | | | $U/f^{2.5}=\text{const}$ | | | | $U/f^3=\text{const}$ | | | |
|-----------|------------------------|---------------|---------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------------|---------------|---------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------|--------------------|
| | $P_{\text{ном}}$ Вт | P_1 , Вт | P_2 , Вт | ΣP , Вт | $P_{\text{ном}}$ Вт | P_1 , Вт | P_2 , Вт | ΣP , Вт | $P_{\text{ном}}$ Вт | P_1 , Вт | P_2 , Вт | ΣP , Вт | $P_{\text{ном}}$ Вт | P_1 , Вт | P_2 , Вт | ΣP , Вт |
| 1 | 295,2 | 553,8 | 229,6 | 1078,6 | 288,9 | 558,9 | 237,3 | 1085,1 | 286,7 | 537,1 | 243,6 | 1067,4 | 282,6 | 562,5 | 243,8 | 1088,8 |
| 0,9 | 288,8 | 509,6 | 206,7 | 1005,1 | 276,3 | 516,0 | 219,6 | 1011,9 | 268,8 | 490,3 | 224,8 | 983,9 | 265,5 | 525,8 | 231,6 | 1022,9 |
| 0,8 | 280,3 | 466,6 | 184,4 | 931,4 | 261,1 | 476,5 | 204,1 | 941,7 | 253,2 | 456,7 | 211,4 | 921,2 | 244,7 | 499,2 | 224,3 | 968,1 |
| 0,7 | 275,1 | 437,2 | 169,2 | 881,6 | 250,3 | 446,3 | 191,4 | 888,1 | 240,3 | 427,9 | 199,2 | 867,3 | 231,5 | 474,2 | 214,7 | 920,4 |
| 0,6 | 267,8 | 390,1 | 144,8 | 802,7 | 238,7 | 395 | 167,5 | 801,2 | 226,9 | 389,2 | 181,0 | 797,1 | 216,3 | 425,9 | 193 | 835,2 |
| 0,5 | 263,7 | 353,5 | 125,8 | 743,0 | 232,8 | 357,3 | 149,2 | 739,3 | 218,7 | 353,0 | 162,9 | 734,6 | 208,7 | 389,6 | 175,5 | 773,8 |
| 0,4 | 260,6 | 315,0 | 105,9 | 681,5 | 227,5 | 311,2 | 126,1 | 664,8 | 212,2 | 305,1 | 137,7 | 655,0 | 201,3 | 339,8 | 150,9 | 692,0 |
| 0,3 | 258,6 | 280,8 | 88,2 | 627,6 | 223,2 | 273 | 107,1 | 603,3 | 208,4 | 267,7 | 117,8 | 594,0 | 195,2 | 296,1 | 129,1 | 620,4 |
| 0,2 | 255,6 | 233,2 | 63,5 | 552,3 | 217,5 | 215,5 | 78,2 | 511,2 | 201,9 | 204,7 | 84,2 | 490,8 | 188,5 | 230,1 | 95,8 | 514,3 |
| 0,1 | 253,5 | 195,4 | 43,9 | 492,9 | 214,8 | 168,6 | 54,3 | 437,7 | 198,2 | 154,6 | 57,3 | 410,1 | 185,2 | 174,8 | 67,4 | 427,4 |

Таблиця 3.7 – Середнє перевищення температури обмотки статора при реалізації різних законів регулювання на базі К 160 / 20а, °С

| Q , в.о. | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $U/f=\text{const}$ | 60;28 | 55,63 | 50,88 | 47,63 | 42;69 | 39,04 | 35,09 | 31,96 | 25,12 | 20,13 |
| $U/f^2=\text{const}$ | 60,43 | 55,79 | 50,79 | 47,40 | 42,06 | 38,16 | 33,87 | 29,97 | 24,68 | 20,47 |
| $U/f^{2.5}=\text{const}$ | 59,89 | 53,99 | 49;56 | 46,16 | 41,72 | 38,08 | 33,08 | 29,58 | 23,49 | 18,79 |
| $U/f^3=\text{const}$ | 60,48 | 55,74 | 52;01 | 48,86 | 43,47 | 39,68 | 34,93 | 30;89 | 24,79 | 19,94 |

Зниження перевищення температури обмотки статора визначається зниженням електричних втрат. Для того щоб оцінити економічну ефективність роботи АД в електроприводі насосного агрегату при частотному регулюванні частоти обертання розрахуємо кількість енергії споживаної насосним агрегатом згідно циклу навантаження, зображеному на рисунку 3.5. Розрахунок проводився в сучасному середовищі програмування MathCAD. У таблиці 3.8 представлено кількість спожитої енергії, вартість та економічний ефект в залежності від закону регулювання. Зниження кількості спожитої електроенергії в насосному агрегаті при заміні НРЕП на РЕП близько 30% в залежності виду закону регулювання.

Таблиця 3.8 – Економічні параметри насосного агрегату К 160/20а

| Вид закону регулювання | ΣW | $\Sigma W_{\text{ек}}$ | $C_{\text{еє}}$ | E |
|----------------------------|------------|------------------------|-----------------|-------|
| | кВт·г | кВт·г | грн. | грн. |
| НРЕП | 96360 | 0 | 211992 | 0 |
| $U/f = \text{const}$ | 65791 | 30569 | 144740 | 67252 |
| $U/f^2 = \text{const}$ | 65733 | 30627 | 144613 | 67380 |
| $U/f^{2.5} = \text{const}$ | 65323 | 31037 | 143711 | 68282 |
| $U/f^3 = \text{const}$ | 65758 | 30602 | 144668 | 67325 |

На рисунку 3.13 зображено гістограму з порівнянням вартості електроенергії при НРЕП та РЕП.

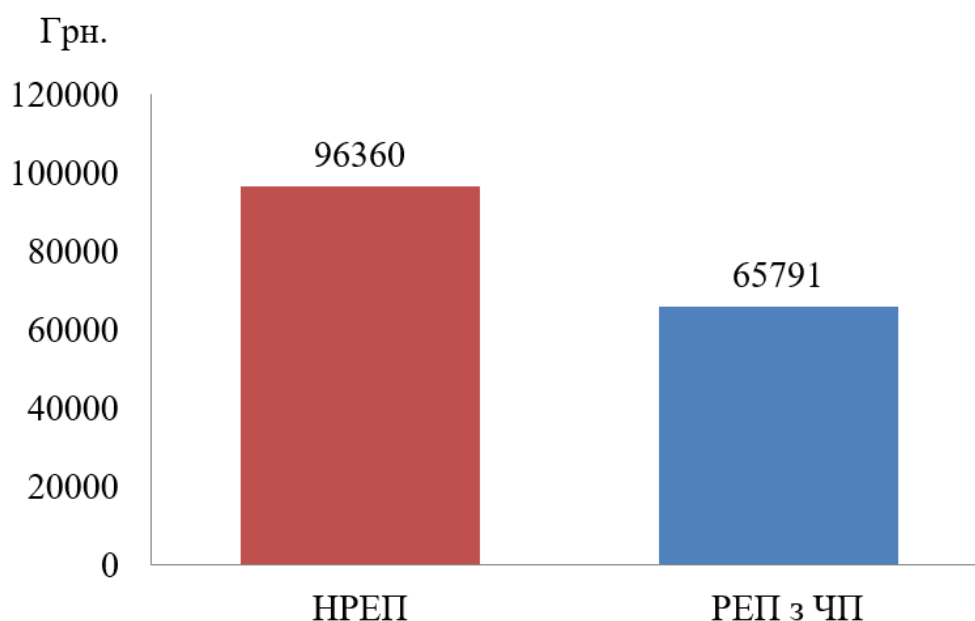


Рисунок 3.13 – Порівняння вартості електроенергії при НРЕП та РЕП з ЧП

Використання РЕП насосних агрегатів виявляється найбільш економічно вигідним. Регулювання напруги на статорі АД в насосних агрегатах ефективно тільки при зміні частоти обертання у вузькому діапазоні, коли діапазон регулювання частоти обертання не перевищує 10%.

При реалізації частотного управління слід використовувати загальноприйнятий закон регулювання частоти обертання $U/f = \text{const.}$. Тому що він не потребує здійснення додаткових вкладень. Економія спожитої електроенергії при впровадженні РЕП досягає 30%.

Таким чином буде доцільно використання РЕП з встановленням ЧП, для цього у наступному розділі буде прораховано потужність ЧП та вибрано модель для встановлення на найбільш відповідний АД та прораховано економічний ефект і термін окупності.

Планується встановити частотно-регульований привід на насос типу Д-630-90. Техніко-економічне обґрунтування впровадження частотного перетворювача.

Вихідні дані:

- потужність насосного агрегату – $P_{e/e} = 250$ кВт;
- час роботи насосу в поливний період – $t_{(ПП)} = 3350$ год;
- коефіцієнт використаної потужності електродвигуна – $k_{\text{вик}} = 0,70$. Витрати електроенергії на рік розраховується по формулі:

$$B_{e/e} = P_{e/e} \cdot t_{(ПП)} \cdot k_{\text{ви}} ,$$

$$B_{e/e} = 250 \cdot 3350 \cdot 0,70 = 586250 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Економія електроенергії за рік розраховується по формулі:

$$E_{e/e} = B_{e/e(\text{баз})} - B_{e/e(\text{рег})} ,$$

де $B_{e/e(\text{баз})}$ – витрата електроенергії в нерегульованому режимі, кВт·год;

$B_{e/e(\text{рег})}$ – витрата електроенергії в регульованому режимі, кВт·год.

$$E_{e/e} = 670000 - 586250 = 83750 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Економія електроенергії на рік від впровадження проекту розраховуємо по формулі:

$$\Delta E = E_{e/e} \cdot C_{e/e} ,$$

де $E_{e/e}$ – економія електроенергії у рік, кВт·год;

$C_{e/e}$ – ціна за кВт·год.

$$\Delta E = 83750 \cdot 2,20 = 184250 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від впровадження проекту розраховуємо по формулі:

$$E = \Delta E + C_{\text{ФОП}} + D_{\text{ем}} + A_{(\text{рег})} + A_{(\text{баз})} ,$$

де ΔE – економія електроенергії на рік від впровадження проекту, грн;

$C_{\text{ФОП}}$ – зменшення собівартості за рахунок економії фонду оплати праці з нарахуваннями (37%) у розрахунку на рік, грн;

$D_{\text{ем}}$ – вартість зворотних матеріалів при демонтажі старого обладнання, грн;

$A_{(рег)}$ – амортизаційні відрахування на рік у регульованому періоді, грн;

$A_{(баз)}$ – амортизаційні відрахування у нерегульованому періоді, грн.

$$E = 184250 + 4049 + 0 + 500 + 100 = 188699 \text{ грн.}$$

Термін окупності заходу розраховуємо по формулі:

$$T_{ок} = \frac{K}{E},$$

де K – повна вартість реалізації заходу з монтажними та пуско-налагоджувальними роботами без ПДВ, грн;

E – економічний ефект від впровадження проекту, грн.

$$T_{ок} = \frac{266210}{188699} = 1,4 \text{ рік.}$$

Крім економії електроенергії до додаткових позитивних факторів застосування електроприводу, що регулюється, можна також віднести наступне:

- зменшення аварійності на водомережі за рахунок виключення поштовхів та гідро ударів при регулюванні і плавному пуску чи зупинці агрегатів;
- зменшення зносу обладнання;
- збільшення моторесурсу насосних агрегатів і запірної арматури.

Економічний ефект від впроваджуваних ЧРЕП

Наступним етапом є визначення економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів. Всього на підприємстві було запропоновано впровадити три заходи, щодо зменшення споживання електроенергії.

Економічний ефект від впровадження перетворювачів частоти:

- зниження витрат води до 5% і зменшення прихованих витоків за рахунок сталості тиску в мережі і зняття надлишкового напору;

- скорочення обсягу експлуатаційних, питомих капітальних та ремонтних витрат;

- забезпечується надійна робота зі «слабкими» мережами електропостачання і поганою якістю електроенергії; стабільна робота в широкому діапазоні напруги мережі живлення і висока стійкість при провалах напруги живлення;

- економія електричної енергії завдяки оптимізації роботи насосних агрегатів становить 83750 кВт·год (повністю виключити споживання реактивної потужності з електромережі);

- збільшення терміну служби обладнання в 1,5-2 рази;

- терміни окупності інвестицій не перевищують півтора роки;

- економічний ефект склав 188699 грн.

Розраховано споживання електроенергії насосною станцією до впровадження заходу щодо зменшення споживання і після впровадження заходу, та побудовано гістограму (рисунок 4.3).

В таблиці 4.2 зведені основні економічні показники запропонованого заходу.

Таблиця 4.2 – Економічні показники запропонованого заходу

| Захід | Економія електроенергії кВт·год | Економія, грн | Капіталовкладення, грн | Термін окупності, роки |
|--|---------------------------------|---------------|------------------------|------------------------|
| Встановлення ЧП на насос типу Д 630/90 | 83750 | 188699 | 266210 | 1,4 |

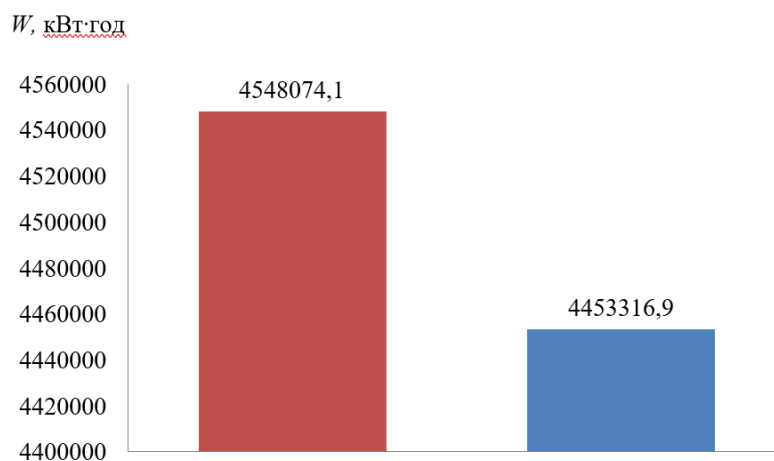


Рисунок 4.3 – Споживання електроенергії до і після впровадження заходів

На рисунку 4.4 зображено гістограму з порівнянням капіталовкладень при реалізації запропонованого заходу.

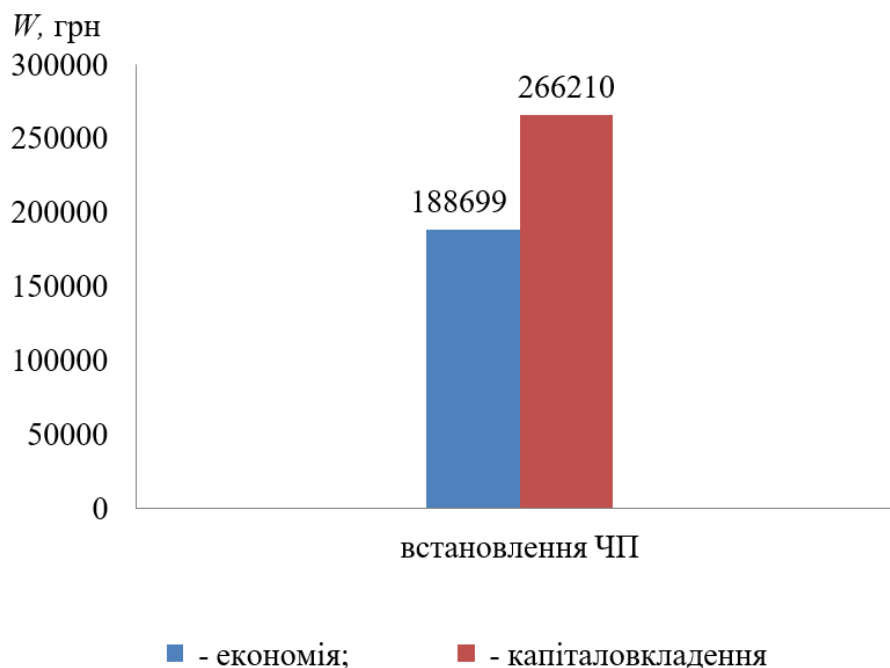


Рисунок 4.4 – Капіталовкладення при реалізації запропонованого заходу

Таким чином за рахунок реалізації запропонованих заходів, щодо підвищення ефективності роботи електричного обладнання, обсяги споживання електроенергії насосною станцією знизяться, в грошових одиницях ця величина складає 219250грн на рік.

ВИСНОВКИ

В представленій роботі вирішені поставлені задачі, основні результати виконаної роботи зведені до наступних положень:

1. Виходячи з розрахунків проведеного енергетичного аудиту, можна стверджувати, що насосні агрегати водозабірної групи, доля яких склала 81,8% являються найбільшими споживачами електроенергії на насосній станції.

2. Для забезпечення широкого діапазону регулювання частоти обертання слід застосовувати привод на основі ПЧ. При невеликому діапазоні регулювання частоти обертання доцільно застосовувати асинхронний електропривод з регулюванням напруги статора.

3. Для обліку недоліків існуючих методик по оцінці економічної ефективності енергозбереження проаналізована модель оцінки економічної ефективності роботи АД у складі регульованого електроприводу насосного агрегату, яка дає можливість порівнювати економічний ефект від впровадження регульованого електроприводу замість нерегульованого в насосні агрегати. Для комплексної оцінки економічної ефективності роботи насосних агрегатів проаналізована послідовність визначення механічних характеристик насосних агрегатів, необхідних для точного визначення робочої точки АД. Характеристики насосного агрегату використовуються для розрахунку енергетичних і економічних характеристик РЕП на основі АД.

4. Таким чином, результатом дослідження є модель оцінки економічної ефективності роботи АД в регульованих електроприводах насосних агрегатів при реалізації різних способів регулювання. При реалізації частотного управління слід використовувати загальноприйнятий закон регулювання частоти обертання $U/f = \text{const.}$. Тому що він не потребує здійснення додаткових вкладень. Прогнозована економія спожитої електроенергії при впровадженні РЕП досягає 30%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Якубчик, П. П. Насоси и насосні установки [Текст] / П. П. Якубчик. СПб: ПГУПС, 1997. – 107 с.
2. Загірняк, М. В. Електричні машини [Текст] : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невалін. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Знання, 2009. – 399 с. – ISBN 978-966-336-644-6.
3. Шлипченко, З. С. Насоси, компресори, вентиляція [Текст] / З. С. Шлипченко – К. Техніка, 1987. – 968 с. – ISBN 7-4126-7431-5.
4. Иванов, И. И. Электротехника [Текст] : підручник / И. И. Иванов, А. Ф. Лукин. – К. : Лань, 2002. – 192 с. – ISBN 8-8114-0460-3.
5. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудувных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – К. : Вища шк., 2006. – 360 с.
6. Онищенко, Г. Б. Электропривод турбомеханизмов [Текст] / Г. Б. Онищенко, М. Г. Юньков. – К. : Энергия, 1972. – 240 с.
7. Автоматизованый электропривод [Текст] : під ред. Н. Ф. Иллинского, М. Г. Юнькова. – К. : Вища шк., 1990. – 544 с.
8. Москаленко, В. В. Электрический привод [Текст] : Навчальний посібник / В. В. Москаленко. – К. : Майстерність, 2000. – 368 с.
9. Лезнов, Б. С. Современные проблемы использования регулируемого электропривода в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов // Журнал. – 2006. – № 11. – ч. 2. – С. 2-5.
10. Шкердин, Д. Г. Преобразователи частоты в энергосберегающем поведу насосов [Текст] / Д. Г. Шкердин // Журнал. – 2004. – №7. – С. 29-32.
11. Технологія енергозбереження в насосах [Електронний ресурс] / Електронний журнал енергосервісної компанії «Енергетичні системи» – №6.
– Режим доступу : \WWW/ URL: http://esco-ecosys.narod.ru/2005_6/art03.htm.
– 10.09.2019 р. – Загол. з екрану.
12. Тютєва, П. В. Економічна ефективність регульованого

електроприводу при обліку енергетичних характеристик асинхронного двигуна [Текст] / П. В. Тютєва, О. О. Муравльова // Електромеханічні перетворювачі енергії : Праці міжнар. науково-практ. конф. – 2007. – С. 80-83.

13. Муравльова, О. О. Енергозбереження насосного агрегату при використанні асинхронного регульованого електроприводу [Текст] / О. О. Муравльова // Автоматизований електропривод : Праці V міжнар конференції з автоматизованого електроприводу. – 2007. – С. 467-470.

14. Чернишов, А. Ю. Расчет характеристик электроприводов переменного тока [Текст] : Навчальний посібник / А. Ю. Чернишов, І. А. Чернишов. – Томськ : Томський політехнічний університет, 2005. – 136 с.

15. Усольцев, А. А. Частотное управление асинхронными двигателями [Текст] : Навчальний посібник / А. А. Усольцев. СПб . : СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

16. Тютєва, П. В. Оцінка економічної ефективності асинхронного регульованого електроприводу насосних агрегатів [Текст] / П. В. Тютєва, О. О. Муравльова // Звістки вузів. Електромеханіка. – 2009. – №2. – С. 61-64.

17. Муравльова, О. О. Використання енергетично ефективних двигунів в регульованому приводі насосів [Текст] / П. В. Тютєва, О. О. Муравльова // Водопостачання та санітарна техніка. – 2008. – № 5. – С. 29-33.

18. Тютєва, П. В. Энергоэффективные асинхронные двигатели для насосных агрегатов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / П. В. Тютєва. – Томск, 2010. – 215 с.

19. Асинхронные двигатели серии 4А [Текст] : Довідник / А. Е. Кравчик, М. М. Шлаф, В. І. Афонін, Е. А. Соболенская. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.

20. Економічні та технологічні аспекти енергоресурсозбереження за рахунок широкомасштабного впровадження регульованого електроприводу [Електронний ресурс] / ЕСКО – №6. – Режим доступу : \WWW/ URL: http://esco-ecosvs.narod.ru/2005_6/art11.htm. – 10.11.2019 р. – Загол. з екрану.

21. Козлов, М. Г. Эффективность внедрения систем с частотно-регулируемыми приводами [Текст] / М. Г. Козлов, А. Н Чистяков // Сучасні технології автоматизації. – 2001. – №1. – С. 76-82

22. Застосування частотно-регульованого електроприводу ефективно рішення проблеми енергозбереження на об'єктах водопостачання і вентиляції [Електронний ресурс] / Вісник енергозбереження. – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://energosber.74.ru/Vestnik/22003/20310.htm/> – 20.11.2019 р. – Загол.з екрану.

Додаток А

Демонстраційні матеріали до кваліфікаційної роботи
Підвищення енергоефективності насосних станцій,
що забезпечують водою до 50 тис. споживачів

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кваліфікаційна робота

Тема: **Підвищення енергоефективності насосних станцій,
що забезпечують водою до 50 тис. споживачів**

Виконав: студент гр. 6.1418-з Боднар О.О.

Керівник: д.т.н., проф. Артемчук В.В.

ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

Технічна характеристика насосів водозабірної групи

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | КПД, % | Кількість, шт |
|---|----------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|---------------|
| 1 | Д-630-90 | АИР132 М4 | 250 | 630 | 90 | 1450 | 82 | 4 |
| 2 | Д-320-50 | АИР132 М4 | 75 | 320 | 50 | 1450 | 80 | 2 |

Технічна характеристика насосів допоміжної групи

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | КПД, % | Кількість, шт |
|---|----------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|---------------|
| 1 | К90/35 | АИР200 М2 | 15 | 90 | 35 | 2950 | 77 | 2 |
| 2 | КС-12-50 | АИР160 М6 | 5,5 | 12 | 60 | 3000 | 80 | 1 |

ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ (ПРОДОВЖЕННЯ)

Технічна характеристика дренажної групи насосів

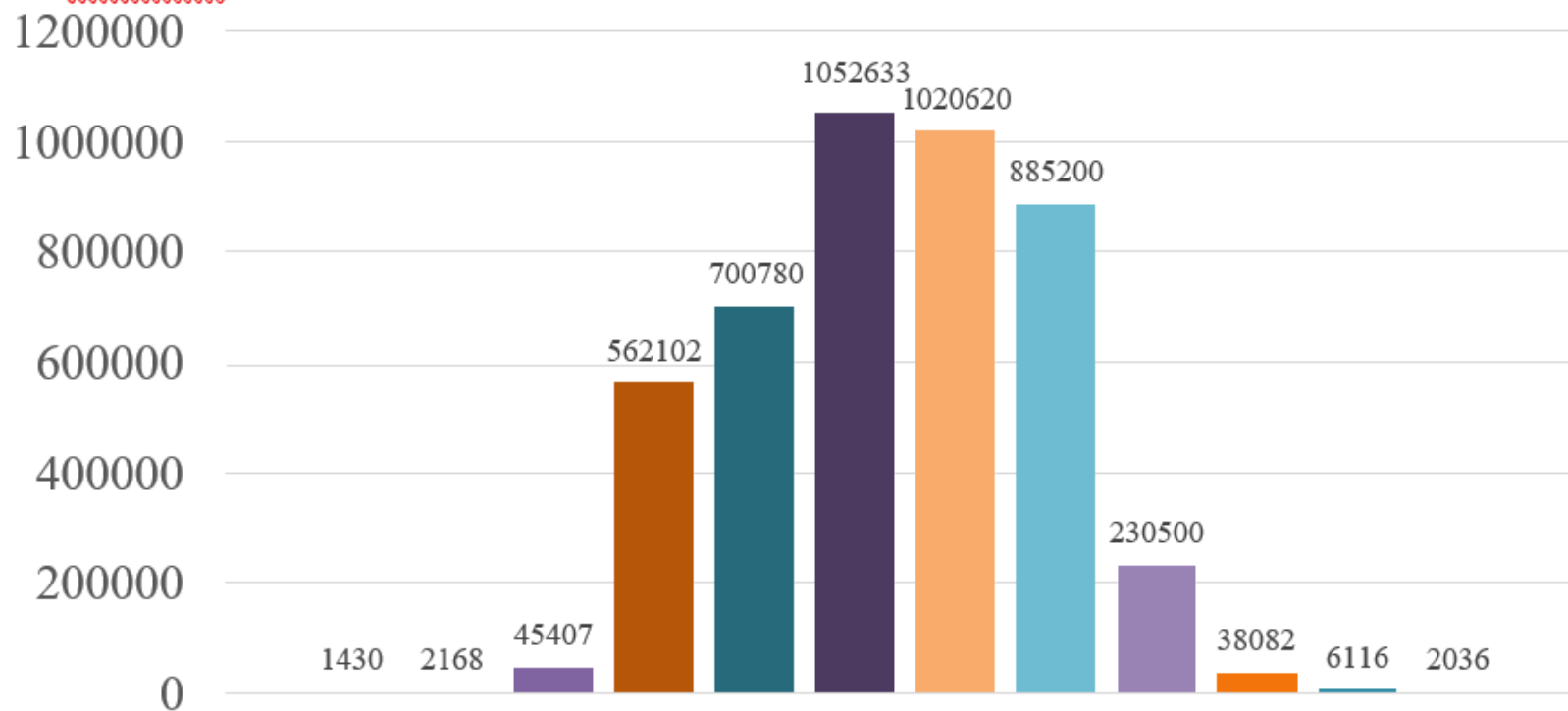
| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | КПД, % | Кількість шт |
|---|------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|--------------|
| 1 | 4К-8 | АИР112 М2 | 18,9 | 100 | 50 | 2900 | 70 | 1 |

Технічна характеристика перекачуючої групи насосів

| № | Тип | Тип двигуна | Потужність, кВт | Подача, м ³ /год | Напір, м | Частота обертів, об/хв | КПД, % | Кількість, шт |
|---|----------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|--------|---------------|
| 1 | Д-320-50 | АИР13 2М4 | 75 | 320 | 50 | 1450 | 80 | 3 |

ЩОМІСЯЧНЕ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА 2021 РІК

W, кВт·год

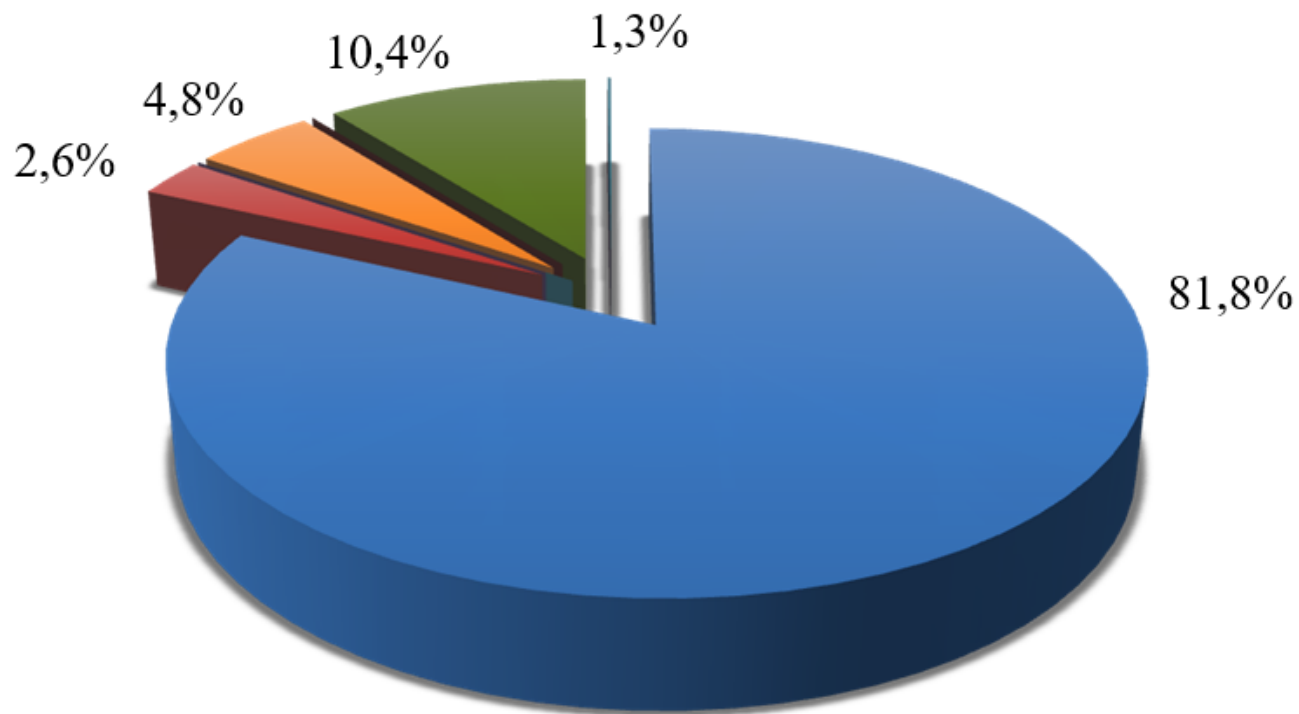


- січень,
- лютий,
- березень,
- квітень,
- травень,
- червень,
- липень,
- серпень,
- вересень,
- жовтень,
- листопад,
- грудень.

ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ОБЛАДНАННЯМ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

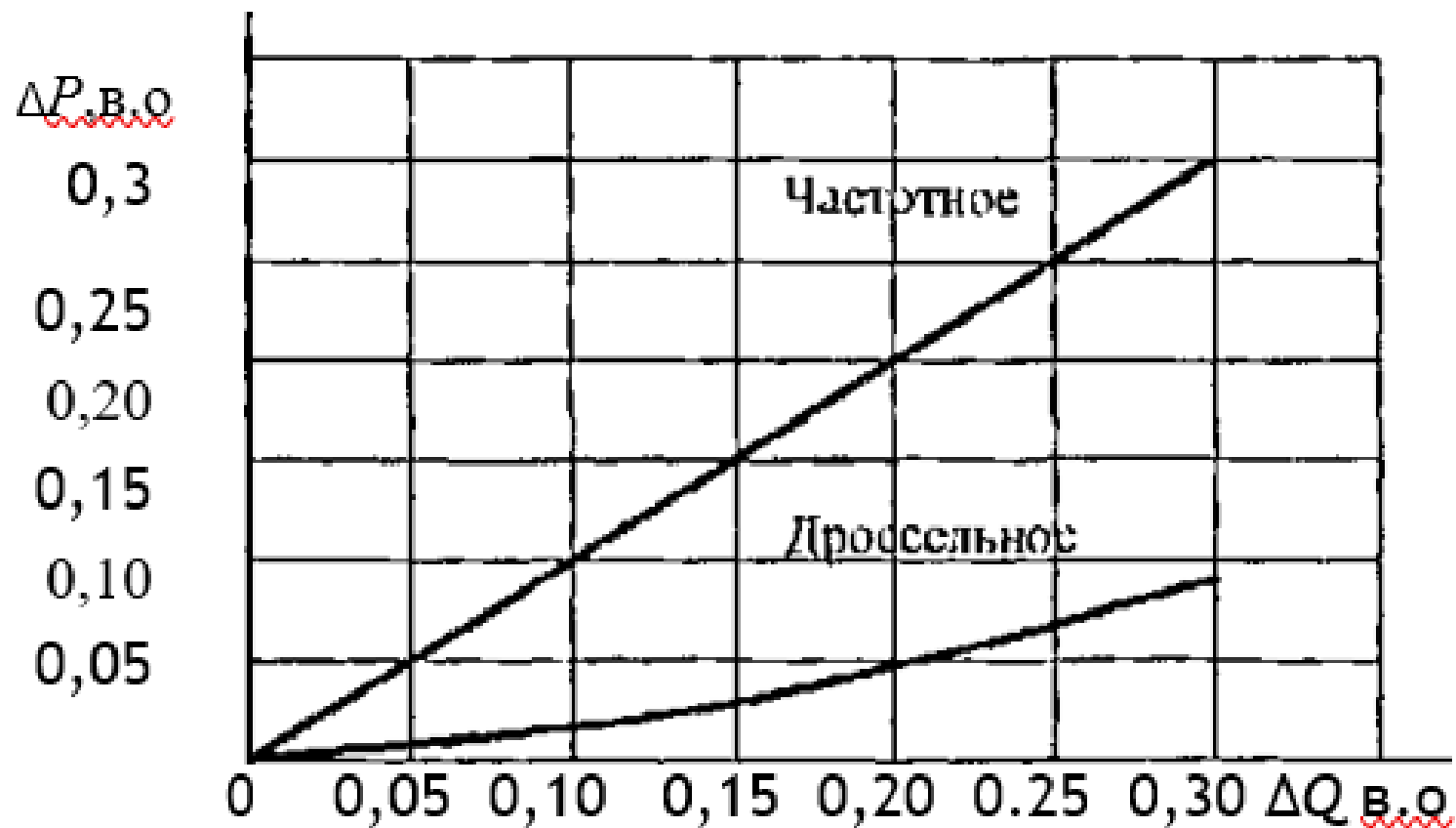
| № з.п. | Найменування обладнання | Потужність, кВт | Кількість, штук | Час роботи, год | Коефіцієнт використання, устаткування, квик | Річне споживання, кВт |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|-----------------------|
| Насосне обладнання | | | | | | |
| 1.1 | Водозабірні Д-630-90 | 250 | 4 | 4350 | 0,70 | 3045000 |
| 1.2 | Водозабірні Д-320-50 | 75 | 2 | 4200 | 0,70 | 441000 |
| 1.3 | Допоміжні К-90/35 | 15 | 2 | 5304 | 0,70 | 111384 |
| 1.4 | Допоміжні КС-12-50 | 5,5 | 1 | 900 | 0,70 | 3465 |
| 1.5 | Перекачуючи Д 320/50а | 55 | 3 | 3865 | 0,70 | 446407,5 |
| 1.6 | Дренажні 4К-8 | 18 | 3 | 5432 | 0,70 | 205329,6 |
| Освітлення насосної станції | | | | | | |
| 2 | ДРЛ - 125 | 1,25 | 54 | 3600 | 0,80 | 295488 |

СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАСОСНІЙ СТАНЦІЇ ЗА 2021 РІК

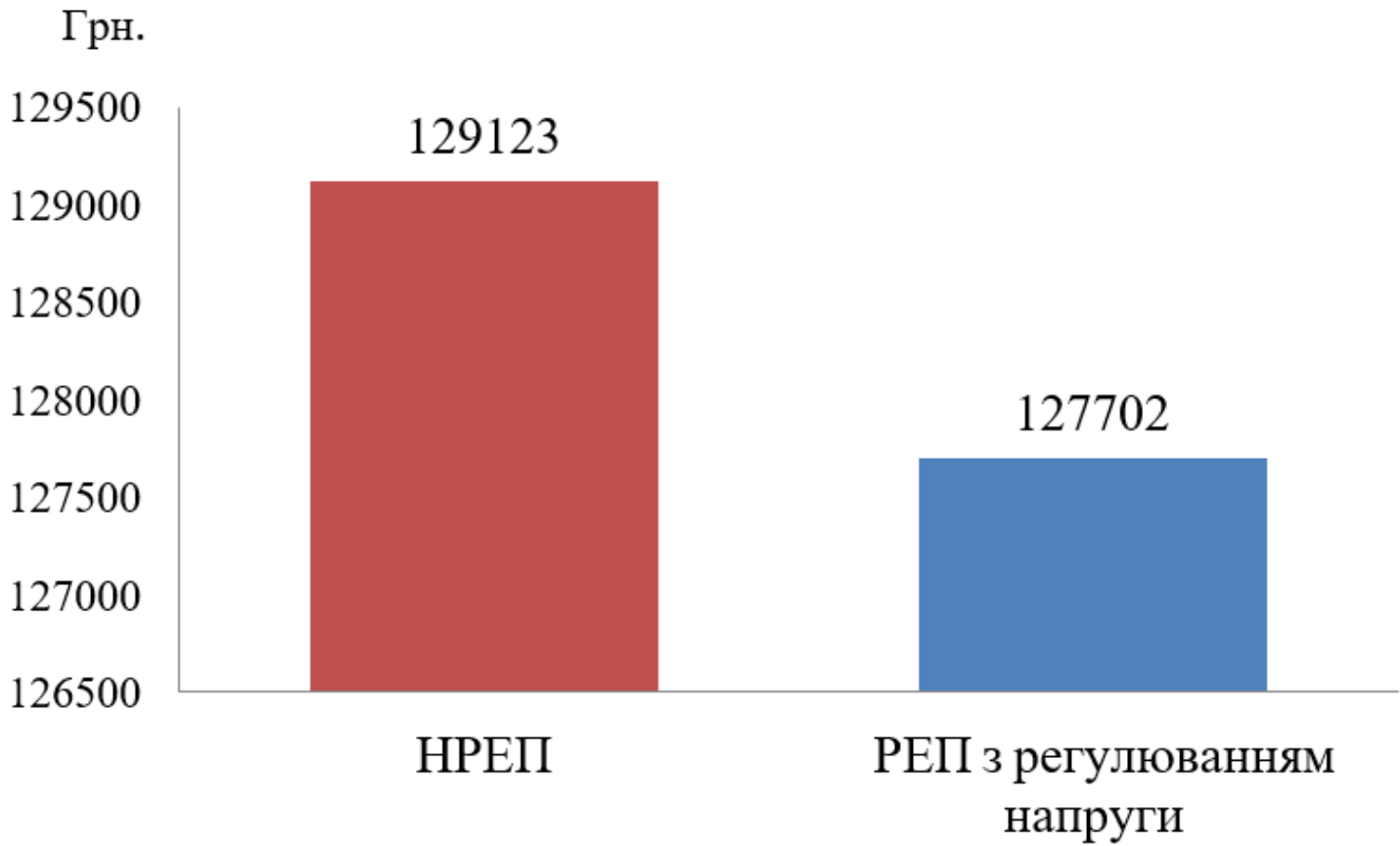


■ - водозабірні, ■ - допоміжні, ■ - дренажні, ■ - перекачуючі, ■ - освітлення

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕКОНОМІЇ СПОЖИВАНОЇ ЕНЕРГІЇ $\Delta P = F(\Delta Q)$ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТОКУ РІДИНИ



ПОРІВНЯННЯ ВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ТА РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ



Дякую за увагу !