

## РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Бур'ян С.О., к.т.н., доц., Землянхін Г.Ю., аспірантка, Канєвський Р.О., студент

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** В сучасному світі жодна сфера діяльності людства не можлива без використання насосних установок. Четверта частина виробленої електроенергії, витрачається електроприводами з механізмами, які мають вентиляторний характер навантаження [1]. До цих механізмів можна віднести: вентилятори, компресори, насоси, повітродувки, димососи і тому подібне. Особливістю електроприводів з турбомеханізмами є квадратична залежність моменту від швидкості обертання валу двигуна та тривалий режим роботи без потреби на реверс [2]. Для керування турбомеханізмами використовують нерегульований та регульований електропривод. До один з найстаріших і випробуваних способів регулювання напору води можна віднести дросельне регулювання, яке є доволі простим та водночас не дорогим. Суть цього способу зводиться до того, що регулювання здійснюється шляхом зміни геометрії напірного трубопроводу, наприклад, частковим перекриванням засувки або іншої арматури. У зв'язку з тим, що даний метод енергетично неефективний, використовують регульований електропривод з частотним перетворювачем на транзисторних IGBT-модулях. Такий метод передбачає використання різних давачів технологічного процесу і є більш економічним [3].

Проте і до нашого часу велика кількість систем керування турбомеханізмами залишаються нерегульованими, а використання синхронних і асинхронних двигунів у цих системах ускладнюється умовами пуску. Для нерегульованих систем насосних установок, що використовуються, втрати енергії досягають 40% у порівнянні з частотно-керованими електроприводами [4]. У зв'язку із зростання цін за електроенергію, а також через забруднення навколишнього середовища, існує необхідність ретельного дослідження електроприводів турбомеханізмів та їх перехідних процесів. Тому актуальною є задача вдосконалення існуючого лабораторного стенду за рахунок використання регульованого електроприводу.

**Мета роботи.** Вдосконалення лабораторної бази кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу шляхом модернізації лабораторного стенду для експериментального дослідження насосних установок.

**Матеріали досліджень.** Модернізована лабораторна установка (ЛУ) створена на основі існуючого лабораторного стенду системи водопостачання. Функціональна схема модернізованого лабораторного стенду для дослідження насосних установок представлена на рис. 1.

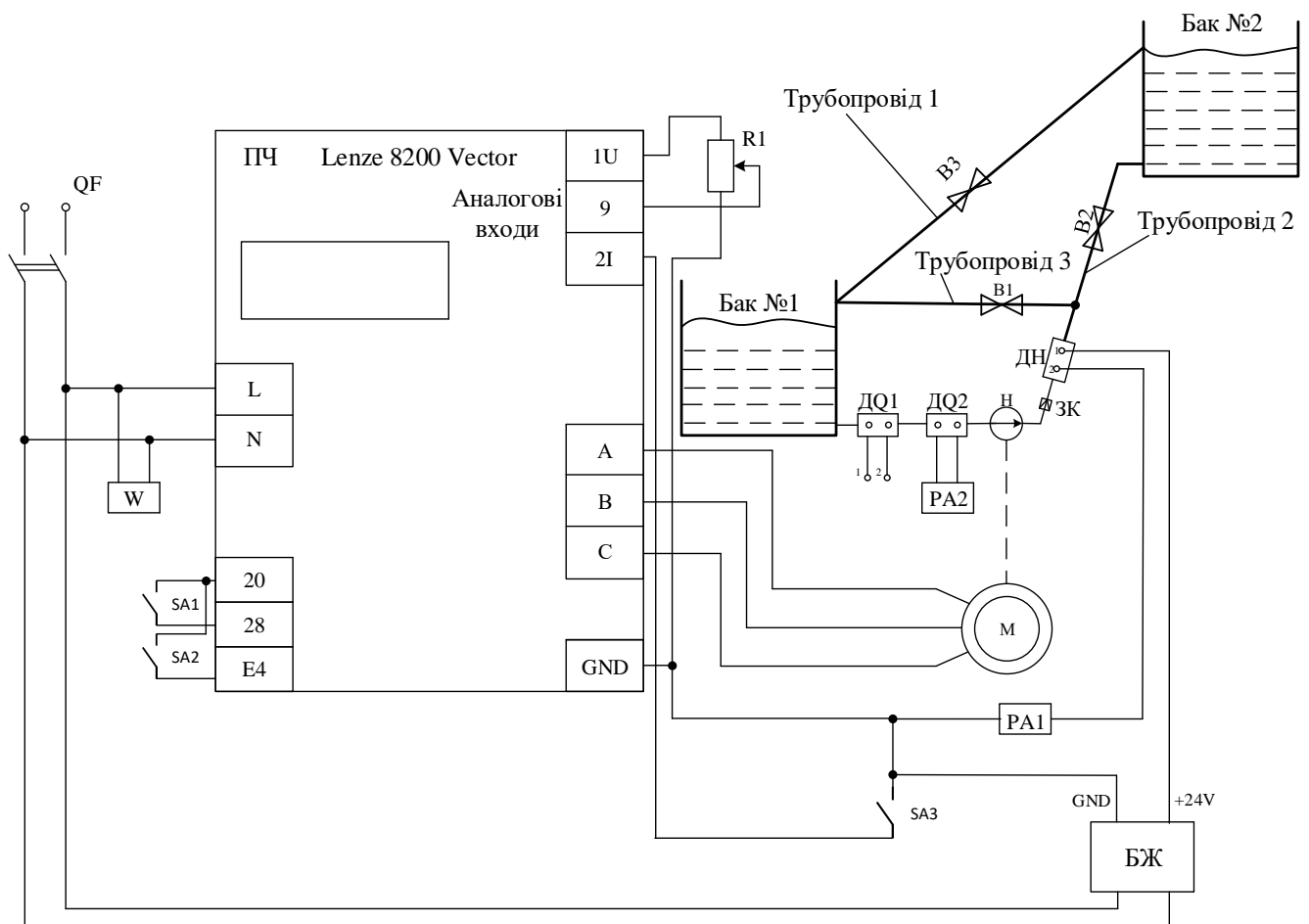


Рисунок 1 – Функціональна схема лабораторного стенду

На рис.1 прийняті наступні позначення: QF – автоматичний вимикач; ПЧ – перетворювач частоти; W – мультиметр; SA1 – перемикач для дозволу на роботу насоса; SA2 – перемикач для забезпечення реверсу насоса; SA3 – перемикач для вибору замкненої системи керування; R1 – потенціометр; ДQ1 – імпульсний датчик витрат ТГП-О; ДQ2 – витратомір; ДН – датчик тиску; Бак №1, Бак №2 – резервуари; ЗК – зворотній клапан; В1, В2, В3 – крани (вентилі); PA1 – мультиметр; PA2 – міліамперметр; М – асинхронний двигун потужністю 0,33 кВт; Н – насос; БЖ – блок живлення.

Для практичної реалізації ЛУ використовуються: насос марки Calpeda МХН 202Е з асинхронним двигуном потужністю 0,33 кВт [5], який керується частотним перетворювачем Lenze 8200 Vector [6]. До насоса під'єднано 2 фітинга, до одного з яких кріпляться шланги LUX-03-06-DN25-PN10, які з'єднуються між собою кранами Укспаг DN25 та з'єднують резервуари Aquatech ATV200 з насосом. До другого фітинга кріпляться: витратомір KOBOLD DRB1115G6L342, що підключається до вимірювача Овен 2ТРМ0, датчик тиску MBS 3000, який з'єднаний з мультиметром Autonics MT4W, та, через перемикач SA3. до перетворювача частоти Lenze 8200 Vector для реалізації замкненої системи керування. Манометр та імпульсний датчик витрат ТГП-О підключаються до мультиметра через клєми, які встановленні у нижній частині ЛУ. Живлення ЛУ реалізується через автоматичний вимикач QF1

TERASAKI TD3 M10 від мережі змінного струму 220В. Керування лабораторної установки здійснюється ПЧ, до якого підключені: перемикачі SA1 – дозвіл на роботу, SA2 – реверс двигуна, SA3 – зворотній зв'язок за напором, потенціометр R1 необхідний для керування обертами валу двигуна та мультиметр Lovato DMK40 [7], який підключений до входу перетворювача для вимірювання активної, реактивної та повної потужностей, напруги та струму, який споживається насосною установкою.

Для дослідження насосної установки при налаштуванні параметрів перетворювача частоти на векторне та частотне керування за законами  $u/f=\text{const}$ ,  $u/f^2=\text{const}$  без зворотного зв'язку за тиском при двох величинах завдання частоти 45 Гц та 50 Гц необхідно:

1. Встановити у перетворювачі частоти заводські налаштування параметрів, занести паспортні дані двигуна в параметри **C0087** – **C0091**, провести ідентифікацію параметрів асинхронного двигуна насосу. Ідентифікація параметрів асинхронного двигуна можлива лише в режимі векторного керування та триває приблизно 30 секунд.

2. Налаштувати параметри перетворювача частоти на необхідний закон керування та ввести усі необхідні параметри.

Після того, як внесено усі параметри необхідно дати дозвіл роботи перетворювача частоти перемикачем SA1. Переконавшись, що повністю відкрито вентиль В1 (або В2), можна натискати кнопку «**Run**» на панелі керування ПЧ і за допомогою потенціометра R1 встановити максимальну вихідну частоту 50 Гц.

Налаштувати параметри ПЧ на частотне керування  $u/f = \text{const}$ , або на частотне керування  $u/f^2 = \text{const}$  без зворотного зв'язку за тиском або на векторне керування необхідно у параметрі **C0014**.

3. Далі необхідно знімати лише напірні характеристики.

Для зняття характеристик необхідно встановити задане значення частоти  $i$ , змінюючи положення шарового крану (вентиля), змінювати величину витрат води (положення робочої точки). Необхідно записувати наступні дані:

- покази міліамперметра PA1, пропорційні напору  $H$ ;
- покази міліамперметра PA2, пропорційні витратам  $Q$ ;
- покази мультиметра LOVATO DMK40, пропорційні активній потужності  $P$  насоса та ПЧ;
- вхідну частоту  $f$  – **C0050**;
- витрати  $Q$  за допомогою імпульсного датчика.

Вимірювання витрат за допомогою імпульсного датчика проводяться наступним чином: до його виходів, що під'єднанні до клем підключається мультиметр в режимі вимірювання опору. При проходженні води через датчик, через кожні 10 літрів він спрацьовує і необхідно зробити виміру часу.

4. Для побудови напірної характеристики  $H=f(Q)$ , споживаної потужності  $P=f(Q)$  та ККД насосу  $\eta=f(Q)$  необхідно зняти 10 точок відповідно до варіацій опору гідравлічної мережі та виконати наступні розрахунки.

Бари необхідно перевести в метри (1 бар – 10 метрів водяного стовпа), літри за секунду перевести в м<sup>3</sup>/с (1 літр за секунду – 0,001 м<sup>3</sup>/с).

Напір, що створює насос пропорційний показам мультиметра РА1 з вихідним сигналом 4-20 мА, причому 6 барам максимально тиску відповідає 20 мА максимального струму. Виходячи з цього формула для перерахунку струму у напір має наступний вигляд:

$$H = \frac{10 \cdot (I_{РА1} - 4) \cdot H_{\max}}{I_{\max} - 4} \quad (1)$$

де  $H$  – напір що створює насос;  $I_{РА1}$  – покази мультиметра РА1;  $I_{\max}$  – максимальний струм мультиметра;  $H_{\max}$  – максимальний напір.

Продуктивність насосу за показами імпульсного датчика витрат:

$$Q = \frac{10 \cdot k}{t_{\zeta}} \quad (2)$$

де  $t_{\zeta}$  – час між двома замиканнями;  $k = 0.001$  – коефіцієнт приведення л/с у м<sup>3</sup>/с.

Для побудови напірної характеристики потрібно перевести витрати із м<sup>3</sup>/с у м<sup>3</sup>/год.

Коефіцієнт корисної дії системи двигун-насос

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P} \quad (3)$$

де  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – густина води;  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння;  $Q$  – продуктивність в м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напір в м;  $P$  – активна потужність насоса та ПЧ в Вт.

Виконання розрахунків можна проводити у програмі MatLab, необхідні значення:  $Q$  – в м<sup>3</sup>/с,  $H$  в м,  $P$  в Вт,  $\eta$  в % вписати у масиви та за допомогою них побудувати необхідні залежності.

Алгоритм налаштування ЛУ для дослідження замкненої системи керування за тиском при різних параметрах регулятора напору аналогічний, як для частотного керування  $u/f^2 = \text{const}$  без зворотного зв'язку, проте перемикач SA3 необхідно перевести у положення, що відповідає замкненій системі. Додатково необхідно реалізувати регулятор напору встановивши відповідні параметри ПЧ.

Оскільки діапазон зміни вихідного сигналу струму датчика тиску 4-8 мА для технологічних умов даної насосної установки, а вхід 2I розраховано на 4-20 мА, то при високих величинах завдання на вході 1U вихід регулятора буде завжди попадати в зону обмежень. Якщо регулятор потрапить у зону обмежень, для забезпечення працездатності необхідно відкалібрувати сигнал завдання, встановити параметри пропорційної та інтегральної складових регулятора для двох дослідів відповідно **S0070=2(3)**, **S0071=100(200)** та далі знімати лише статичні характеристики.

Статичні характеристики системи стабілізації тиску представляють собою залежність  $H = f(Q)$  в умовах зміни гідравлічного опору мережі (зміна положення вентиля). Для зняття характеристик необхідно зробити наступне:

- виставити кран у середнє положення;
- змінювати завдання потенціометром R1, виставити на міліамперметрі величину завдання тиску 6 мА;
- якщо це неможливо зробити і при цьому частота складає 50 Гц, то необхідно ще більше прикрити вентиль;
- після цього ручка потенціометра залишається у незмінному положенні (величина завдання не змінюється);
- вимірюються величини  $Q$  і  $H$  для 5-8 робочих точок при зміні положення вентиля.

Під час експерименту необхідно слідкувати, щоб вихід регулятора не заходив у зону обмеження, тобто частота постійно має бути 50 Гц. Залежність  $H = f(Q)$  при ПІ-регуляторі напору повинна бути паралельна осі  $Q$ , тобто покази міліамперметра не повинні змінюватися. При П-регуляторі – з'являється статична помилка і ці покази змінюються.

Результати досліджень для розімкненої системи приведені на рис. 2-5. Дослідження замкненої системи за напором проводилися при частотному закону  $u/f^2 = \text{const}$  керуванні, результати яких представлені на рис 6.

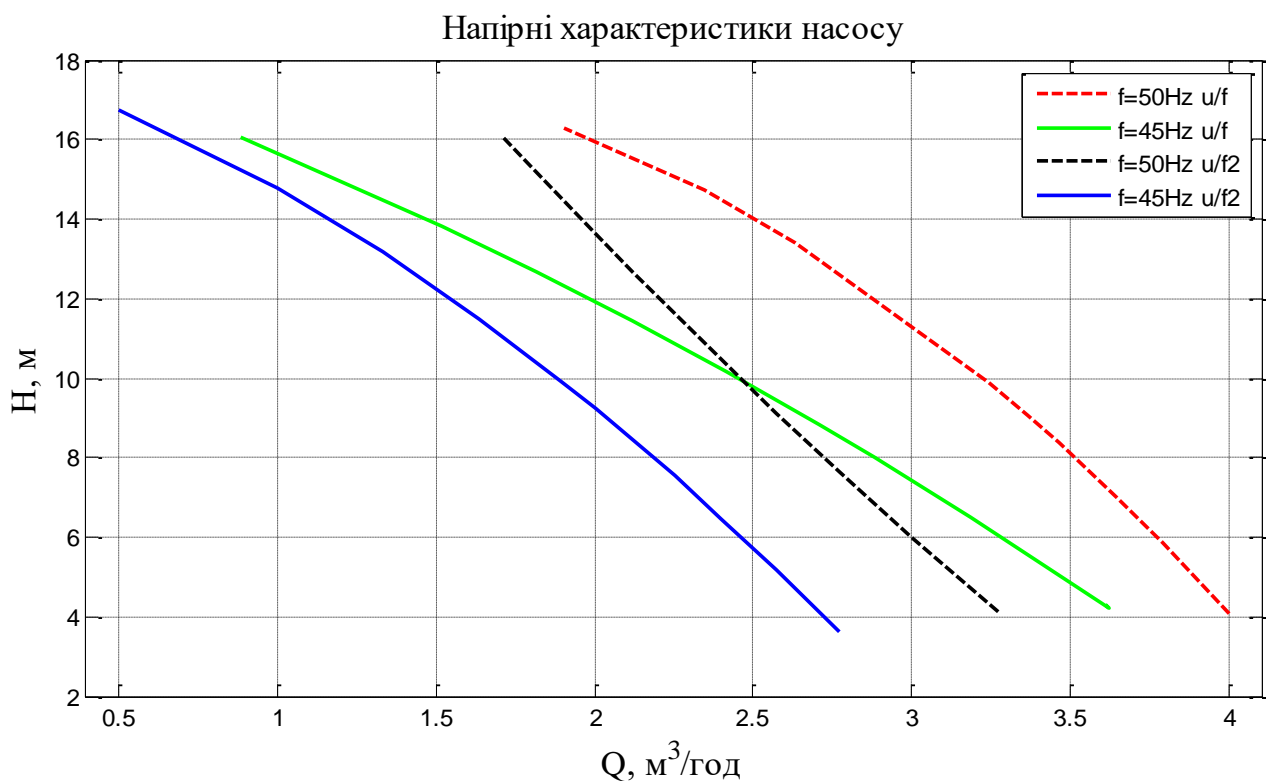


Рисунок 2– Напірні характеристики насосу при частотному керуванні  $u/f = \text{const}$  та  $u/f^2 = \text{const}$

Характеристики споживаної потужності

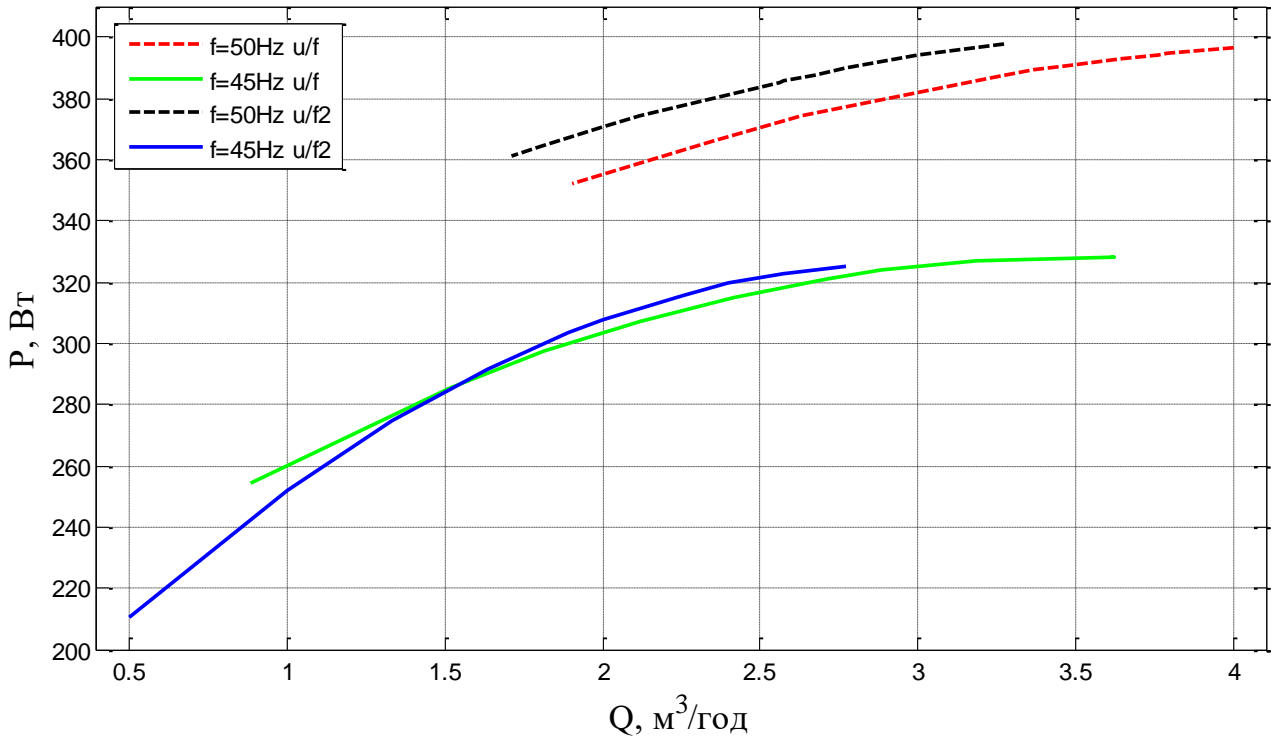


Рисунок 3 – Характеристики споживаної потужності насосу при частотному керуванні  $u/f=\text{const}$  та  $u/f^2=\text{const}$

Характеристики ККД насосу

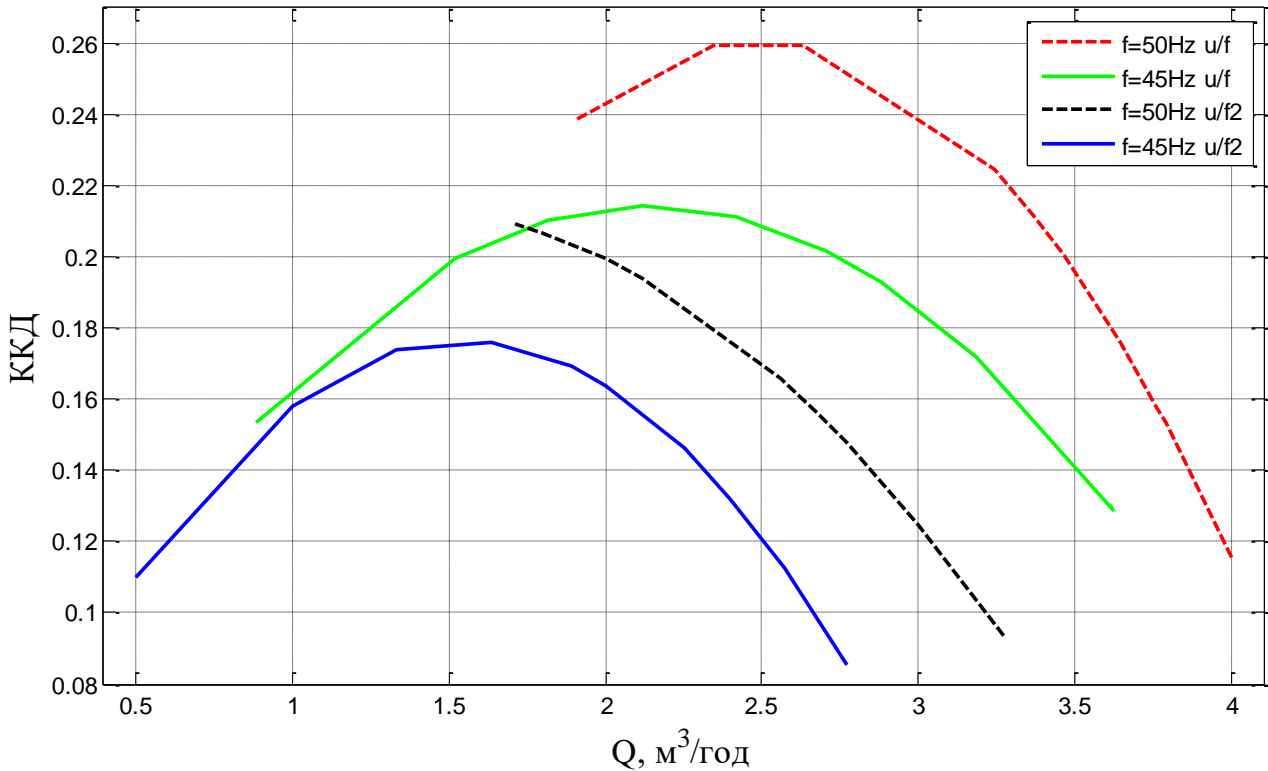


Рисунок 4 – Характеристики ККД насосу при частотному керуванні  $u/f=\text{const}$  та  $u/f^2=\text{const}$

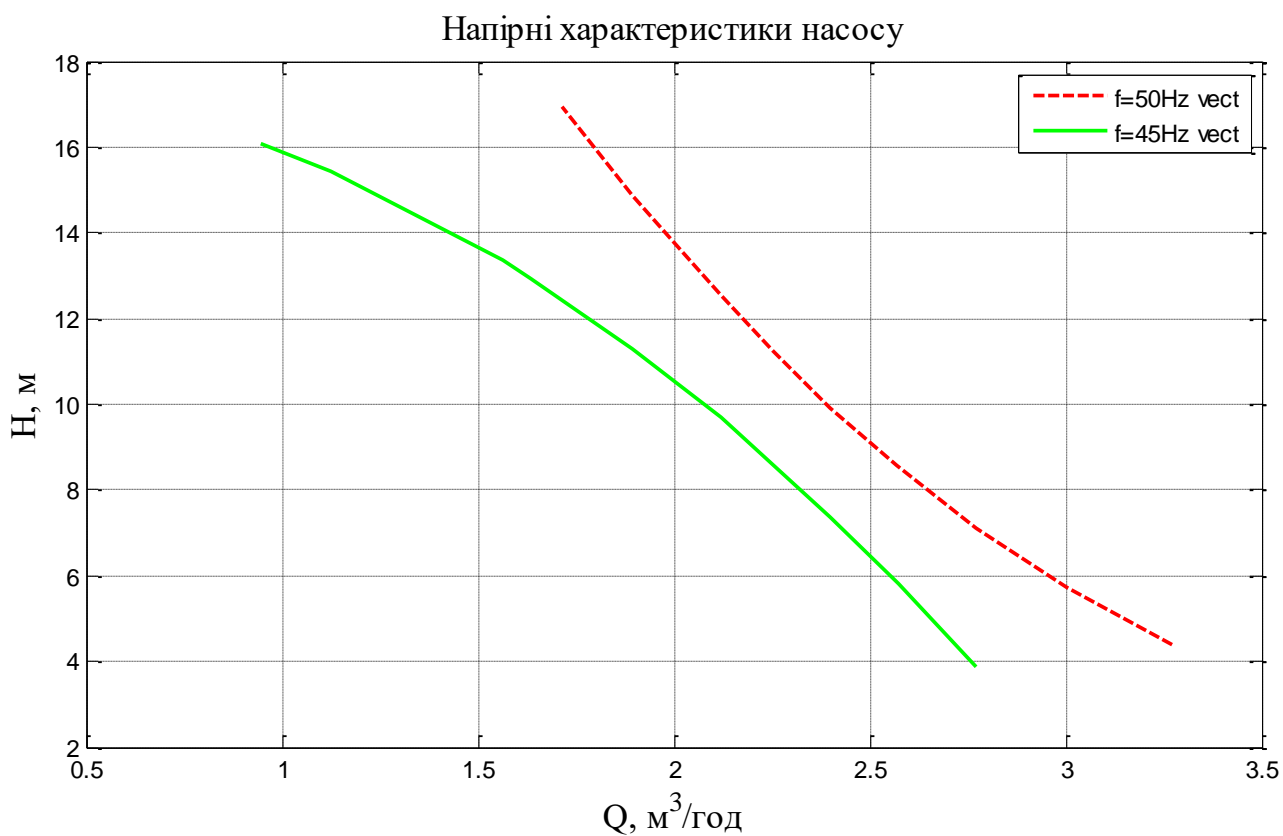


Рисунок 5 – Напірні характеристики насосу при векторному керуванні

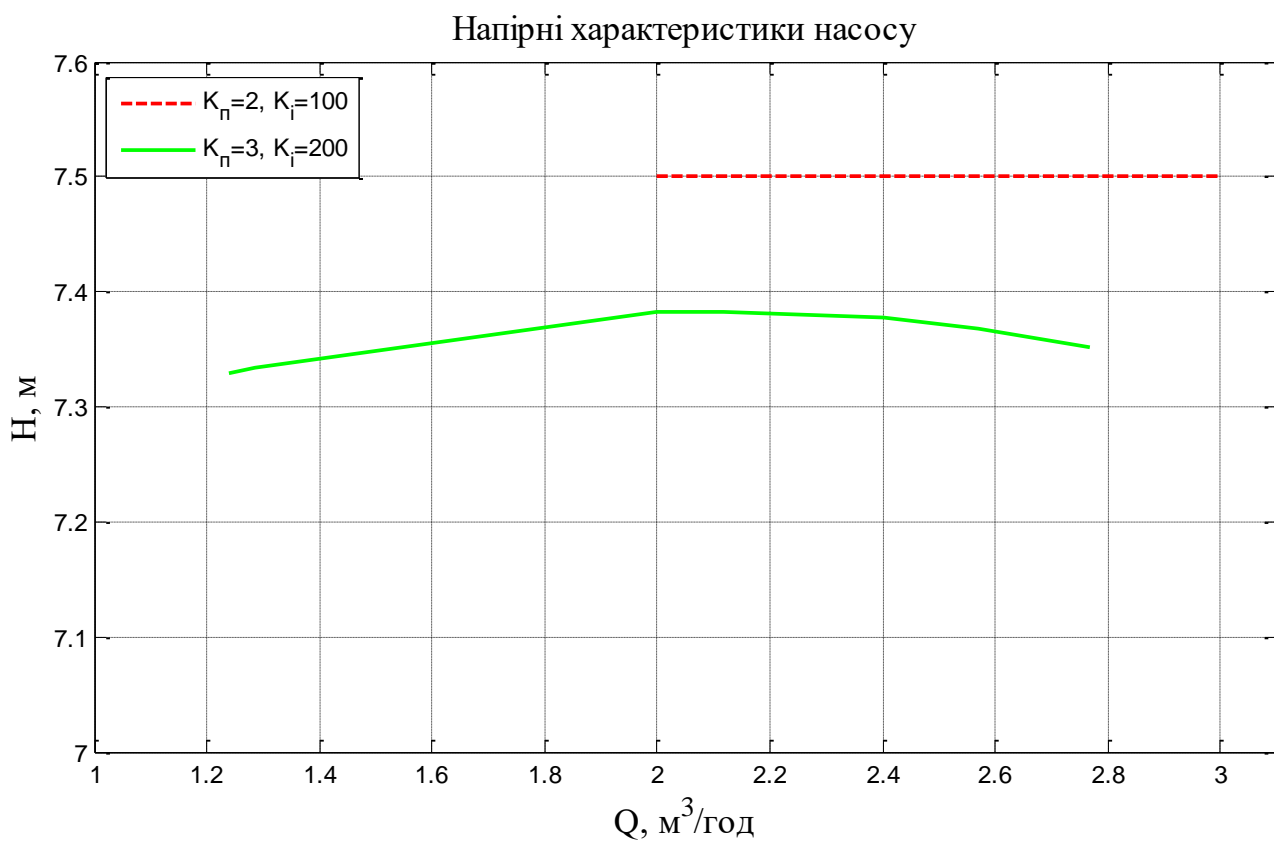


Рисунок 6 – Напірні характеристики насосу при замкненій системі керування

Після дослідження розімкненої системи керування на отриманих графіках (рис. 2-5) спостерігаємо, що більш продуктивним є частотне керування за законом  $u/f = \text{const}$ . Дослідження замкненої системи (рис. 6) показує, що для забезпечення стабілізації напору при варіаціях гідравлічного опору параметри регулятора мають бути наступними: коефіцієнт підсилення  $P$  - регулятора рівний 2, коефіцієнт інтегральної  $I$  складової – 100. На відміну від розімкненої системи керування, у замкненої є перевага – стабілізація напору незалежно від величини продуктивності. Однак розімкнена система є дешевшою через відсутність у ній давача витрат.

**Висновки.** В роботі розглянуто розробку вдосконаленого лабораторного стенду для експериментального дослідження електромеханічних систем автоматизації насосних установок. Лабораторна установка дозволяє досліджувати розімкнені та замкнені системи керування насосними установками, обирати найбільш економічний режим споживання електричної енергії відповідно до різних технологічних процесів. Модернізований лабораторний стенд ознайомить студентів з реальною насосною установкою, що використовується на підприємствах та в повсякденному житті.

#### Перелік посилань

1. Шевчук С.П. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки : підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямком підготовки «Електромеханіка» / С.П. Шевчук, О.М. Попович, В.М. Світлицький // Мін-во освіти і науки України ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ». – 2010. – 308 с.

2. Види і особливості відцентрових насосів URL: [https://www.ukrinform.ua/rubric-other\\_news/2466469-vidi-i-osoblivosti-vidcentrovih-nasosiv](https://www.ukrinform.ua/rubric-other_news/2466469-vidi-i-osoblivosti-vidcentrovih-nasosiv)

3. Закладний О.М. Енергозберігаючі аспекти застосування частотно-регульованого електропривода / О.М. Закладний, Т.М. Тимченко, В.Ю. Передрій, В.В. Гром // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2003. – Вип. 2(19), Т.1. – с.136-139.

4. S.A.Mircevski, Z.A.Kostic, Z.L.Andonov, “Energy saving with pump's AC adjustable speed drives”, 9 Mediterranean Electrotechnical Conference, 18-20 May, 1998.MELECON 98., Vol. 2. pp.1224 – 1227.

5. Насос Calpeda MXH 202E URL: <http://www.calpeda.com.ua/mxh.html>

6. Перетворювач частоти Lenze 8200 Vector  
URL: [http://www.lenze.org.ua/?inc=inverters/01\\_inv/01e\\_8200\\_Vector](http://www.lenze.org.ua/?inc=inverters/01_inv/01e_8200_Vector)

7. Мультиметр Lovato DMK40  
URL: [http://www.svaltera.ua/catalog/multimetry\\_tsifrovye\\_lovato/](http://www.svaltera.ua/catalog/multimetry_tsifrovye_lovato/)