

УДК 621.313.622.1

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2024.3\(496\).12](https://doi.org/10.15589/znp2024.3(496).12)**JUSTIFICATION OF RATIONAL PARAMETERS OF ELECTRIC DRIVES
FOR PUMP UNITS IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX SYSTEMS****ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ
ДЛЯ СИСТЕМ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ****Anatolii O. Semenov**

asemen2015@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3184-6925

Viacheslav O. Skrypnyk

viacheslav.skrypnyk@pdau.edu.ua

ORCID: 0000-0001-8883-7398

Ruslan M. Kharak

ruslan.kharak@pdau.edu.ua

ORCID: 0000-0002-6131-8501

Oleksandr S. Suprovych

oleksandr.suprovych@st.pdau.edu.ua

ORCID: 0009-0001-2192-5921

А. О. Семенов,

канд. фіз.-мат. наук, доц.

В. О. Скрипник,

д-р техн. наук, проф.

Р. М. Харак,

канд. техн. наук, доцент

О. С. Супрович,

студент

*Poltava State Agrarian University, Poltava**Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава*

Abstract. The article examines the importance of optimizing the parameters of electric drives for pump units to ensure maximum efficiency in water supply systems of the agro-industrial complex. It analyzes the impact of correctly selected electric drive parameters on reducing energy consumption, minimizing equipment wear, and increasing system productivity. As a result of the study, recommendations are proposed for selecting rational electric drive parameters that ensure increased energy efficiency and reliability in agro-industrial complex systems.

Purpose. The purpose of this study is to substantiate the rational parameters of the electric drive for pump units to ensure maximum efficiency and increase the coefficient of performance in water supply systems of the agro-industrial complex, depending on the technical parameters of the "electric motor-pump" system.

Method. The analysis of the operation of electric drives for pump units to justify the rational parameters of electric drives using regulation by changing the system characteristics and regulation by changing the pump characteristics.

Results. The research showed that to ensure maximum efficiency of pump units, it is necessary to: select the rational power and type of electric motor based on the technical parameters of the "electric motor-pump" system; consider the efficiency coefficient (COP) of the pump and transmission; calculate the parameters of the electric motor, considering possible deviations in the pump's operating mode.

Scientific novelty. Consists in the development of a methodology for substantiating the rational parameters of electric drives for pumping units, which ensure maximum efficiency of work in agro-industrial complexes. For the first time, a method of a complex approach to the selection of electric motor parameters is proposed, which takes into account: changes in the characteristics of the pump-network system; changes in pump characteristics; the influence of the mechanical characteristics of the pump and electric motor on the operation of the entire installation.

Practical importance. The practical significance of the study lies in the possibility of: optimizing the operating point of the system to ensure maximum efficiency; increasing the energy efficiency of pump units by correctly selecting operating modes.

Key words: electric drives; pump units; energy efficiency; asynchronous electric motors; energy consumption reduction.

Анотація. У статті розглядається важливість оптимізації параметрів електроприводів насосних агрегатів для забезпечення максимальної ефективності їх роботи в системах водопостачання агропромислового комплексу. Аналізується вплив правильно підібраних параметрів електроприводу на зниження енергоспоживання, зменшення зносу обладнання та підвищення продуктивності систем. В результаті дослідження запропоновано реко-

мендації щодо підбору раціональних параметрів електроприводів, що забезпечують підвищення енергоефективності та надійності систем агропромислового комплексу.

Мета. Обґрунтування раціональних параметрів електроприводу насосного агрегату для забезпечення максимальної ефективності підвищення коефіцієнта корисної дії в системах водопостачання агропромислового комплексу в залежності від технічних параметрів системи «електродвигун-насос».

Методика. Аналіз роботи електроприводів насосних агрегатів для досягнення обґрунтування раціональних параметрів електроприводів з використанням регулювання зміною характеристики системи та регулювання зміною характеристики насоса.

Результати. Дослідження показали, що для забезпечення максимальної ефективності роботи насосних агрегатів необхідно: вибирати раціональну потужність та тип електродвигуна на основі технічних параметрів системи «електродвигун-насос»; враховувати коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса та передачі; розраховувати параметри електродвигуна, враховуючи можливі відхилення режиму роботи насоса.

Наукова новизна. Розробка методології обґрунтування раціональних параметрів електроприводів для насосних агрегатів, що забезпечують максимальну ефективність роботи в агропромислових комплексах. Вперше запропоновано методику комплексного підходу до вибору параметрів електродвигуна, яка враховує: зміни характеристик системи насос-мережа; зміни характеристик насоса; вплив механічних характеристик насоса та електродвигуна на роботу всієї установки.

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає у можливості: оптимізувати робочу точку системи для забезпечення максимальної ефективності; підвищити енергоефективність насосних агрегатів за рахунок правильного підбору режимів роботи.

Ключові слова: електроприводи; насосні агрегати; енергоефективність; асинхронні електродвигуни; зниження енергоспоживання.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Електроприводи насосних агрегатів відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної роботи різних систем водопостачання агропромислового комплексу [1, с. 24]: водозабезпечення виробничих приміщень і тваринницьких ферм, тепlopостачання, зрошення в рослинництві й садівництві та інших. Успішна експлуатація таких агрегатів залежить від оптимально підібраних параметрів електроприводу, які повинні відповідати технічним вимогам кожної системи.

Важливість обґрунтування параметрів електроприводу зумовлена необхідністю забезпечення максимальної ефективності роботи насосних агрегатів [2, с. 96], зниження витрат енергії та подовження терміну їх експлуатації. Неправильно підібрані параметри можуть призвести до надмірного споживання енергії, підвищеного зносу обладнання [3, с. 92] та зниження продуктивності системи в цілому [4, с. 46]. Тому розробка методів обґрунтування раціональних параметрів електроприводів є актуальною задачею в галузі енергетики та машинобудування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для забезпечення необхідного коефіцієнта корисної дії (ККД) та регулювання роботи насосів застосовуються методи зміни характеристики системи насос-мережа. Ефективне регулювання значно впливає на економічні показники насосних агрегатів, оскільки ця система часто працює в режимах, які не можливо розрахувати. Це дозволяє забезпечити необхідні задані параметри при зміні умов роботи системи при заданому технологічному процесі [5, с. 55]. Для

обґрунтування раціональних параметрів насосного агрегату розглянемо методи регулювання насосів [6, с. 57], які можна поділити на дві основні групи:

- регулювання зміною характеристики системи, наприклад, за допомогою відповідної трансмісії: пряме з'єднання (муфтове з'єднання) або ремінна передача (з'єднання насоса і двигуна через комплекти шківів і ременів);

- регулювання зміною характеристики насоса, наприклад, зміною частоти обертання [7, с. 48], зміною форми та розмірів проточної частини або частковим відбором рідини з проміжної системи.

Регулювання за допомогою трансмісії є найпростішим і найнадійнішим методом, який полягає у встановленні перед насосом або приєднанні до мережі вибраного типу трансмісії, величину якої можна змінювати за потреби.

Проте, коли ми говоримо про коефіцієнт корисної дії (ККД), який є показником ефективності системи [8, с. 878], то важливо враховувати, що в разі збільшення діапазону регулювання подачі (тобто, зміни величини трансмісії), ККД цього методу знижується пропорційно квадрату при збільшенні діапазону. Це означає, що чим більший діапазон регулювання, тим менш ефективно працює система, оскільки зі збільшенням діапазону потрібно враховувати більше факторів та збільшується ймовірність втрат енергії чи ефективності роботи системи. Така залежність пов'язана з тим, що під час регулювання подачі змінюється робоча точка насоса, що призводить до невідповідності характеристик електроприводу й насоса.

Регулювання зміною проточної частини насоса включає [9, с. 102]:

- можливість змінювати напір ступеня при заданій продуктивності, що досягається шляхом регулювання окружних складових швидкостей на вході та виході робочих елементів;

- можливість зменшення газодинамічних втрат у лопатевих апаратах та інших елементах під час роботи насоса в нерозрахункових режимах шляхом підтримання оптимальних кутів атаки потоку на вході в ці елементи.

Регулювання поворотом лопаті осьових насосів або використанням спеціальних радіальних вхідних регульованих апаратів у відцентрових насосах стає дедалі поширенішим. Можливі й інші методи зміни геометрії проточної частини (поворот лопаток дифузора, зміна ширини безлопатевої ділянки перед дифузором та інші), проте їх застосування обмежене через конструктивну складність.

Найбільший економічний ефект зазвичай досягається регулюванням насоса через зміну частоти обертання приводного двигуна [10, с. 740]. Для цього найчастіше використовуються надійні та недорогі асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором. Лише для потужностей понад 200 кВт іноді застосовуються синхронні електродвигуни. Електроприводи постійного струму використовуються не часто, переважно у випробувальних установках.

Застосування потужних синхронних електродвигунів виправдане для нерегульованих електроприводів. У цьому випадку двигун може працювати як синхронний компенсатор реактивної енергії. В таких умовах трансмісія здійснюється через муфтове з'єднання (пряма передача).

Для регульованого електроприводу синхронні електродвигуни потребують наявності системи регулювання струму збудження ротора і, як і асинхронні приводи, комплектуються додатковими перетворювачами частоти [8, с. 878].

Регулювання асинхронного електродвигуна насосного агрегату за допомогою шків-пасової передачі є найбільш вигідним та економічним способом керування. Невисокі вимоги до якості регулювання тиску та витрати дозволяють використовувати найпростіші й недорогі шків-пасові передачі. Шків-пасова передача може бути легко впроваджена в уже існуючу електротехнічну систему без складної реконструкції.

Загалом застосування шків-пасової передачі в насосних установках має такі переваги:

- економія електроенергії (до 50%);
- економія продукту, що транспортується, завдяки зниженню невиробничих витрат;
- зниження аварійності пневматичної або гідравлічної мережі шляхом підтримки мінімально необхідного тиску;
- зниження аварійності електричної мережі та самого агрегату завдяки можливості плавного пуску, що підвищує надійність електрообладнання;

- зниження рівня шуму, створюваного установкою;

- зручність автоматизації та простота впровадження.

При підборі трансмісії під час проектування насосного обладнання враховують характеристики насоса (параметри середовища), необхідне розміщення електродвигуна відносно насоса (схема розміщення), необхідну потужність електродвигуна.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Недостатність досліджень з комплексного підходу до вибору параметрів електроприводів виявляється у відсутності методології, яка б враховувала зміни характеристик системи "насос-мережа" та самого насоса, а також у відсутності систематизованих досліджень взаємодії електродвигуна і насоса в умовах зміни навантажень та експлуатаційних умов. Крім того, не розроблені методики оцінки ефективності регулювання характеристик насосів, що враховували б механічні характеристики при виборі електродвигунів. Також недостатньо досліджень, присвячених інтеграції сучасних асинхронних двигунів у насосні установки.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є обґрунтування раціональних оптимальних параметрів електроприводу насосного агрегату для забезпечення максимальної ефективності підвищення коефіцієнта корисної дії в системах водопостачання агропромислового комплексу в залежності від технічних параметрів системи «електродвигун-насос».

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети застосовуються методи системного аналізу, моделювання та оптимізації. Системний аналіз дозволяє визначити основні параметри та взаємозв'язки в системі "насос-мережа". Моделювання використовується для дослідження динаміки системи та впливу різних факторів на її роботу. Оптимізаційні методи допомагають знайти найкращі параметри електроприводів для підвищення ефективності роботи насосних установок.

Об'єктом дослідження є системи електроприводів насосних установок, що використовуються в агропромислових комплексах для забезпечення водопостачання.

Предметом дослідження є параметри електроприводів насосних установок та методи їх вибору і регулювання з метою підвищення енергоефективності та надійності роботи системи «насос-мережа».

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Вибір потужності та типу електродвигуна, як показав аналіз літературних джерел, для насосного агрегату залежить від ряду конкретних вимог

[8, с. 878; 11, с. 42], таких як насос, тип робочого середовища, об'єм перекачування рідини, необхідний тиск системи, швидкість та ефективність.

Розглянемо більш детальніше декілька основних кроків для правильного вибору потужності та типу електродвигуна.

Вихідними даними для розрахунку у якості прикладу є:

Q – подача насоса, $Q = 0,14 \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір, $H = 150 \text{ м}$;

ρ – максимальна густина перекачуваного середовища, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

η_n – ККД насоса, $\eta_n = 0,81$.

Потужність визначається:

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_n} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,14 \cdot 150}{1000 \cdot 0,81} = 254 \text{ кВт} \quad (1)$$

де Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір, м ; ρ – максимальна густина перекачуваного середовища, кг/м^3 ; η_n – ККД насоса.

$$Q = \frac{500 \text{ м}^3 / \text{год}}{3600} = 0,14 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2)$$

Потужність приводного електродвигуна визначається за принципом, який враховує можливі відхилення режиму роботи насоса від його номінального (паспортного) режиму. Тому щоб не перевантажувати двигун при будь-якому режимі, його потужність потрібно вибрати із запасом:

$$P_d = \frac{k \cdot P_H}{\eta_n} = \frac{1,1 \cdot 254}{0,98} = 285 \text{ кВт} \quad (3)$$

де η_n – ККД передачі, при з'єднанні валів двигуна та насоса муфтою, $\eta_n = 0,98$; k – коефіцієнт запасу, вибираємо $k=1,1$, оскільки електродвигун (ЕД) є приводом насоса, що працює за постійного навантаження при тривалому режимі.

Практична реалізація даного підходу потребує вибору електродвигуна і здійснення розрахунків необхідних параметрів. Розглянемо варіант, коли швидкість обертання двигуна збігається з необхідною швидкістю обертання насоса, тому немає необхідності в застосуванні передачі.

За результатами попередніх розрахунків вибираємо асинхронний двигун типу 4АНК280М6У3 [12, с. 280].

Номінальну частоту обертання визначаємо за формулою:

$$n_{ном} = n_0 \cdot (1 - s_{ном}) = 1000 \cdot (1 - 0,036) = 964 \text{ хв}^{-1} \quad (4)$$

Номінальна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_{ном} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 964}{60} = 100,9 \text{ рад/с} \quad (5)$$

Синхронна частота обертання двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60} = 104,6 \text{ рад/с} \quad (6)$$

Критичне ковзання:

$$s_K = s_{ном} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,036 \cdot (1,9 + \sqrt{1,9^2 - 1}) = 0,13 \quad (7)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{110 \cdot 10^3}{100,9} = 1090,2 \text{ Нм} \quad (8)$$

Критичний момент двигуна:

$$M_{кр} = \lambda \cdot M_{ном.де} = 1,9 \cdot 1090,2 = 2071,4 \quad (9)$$

Залежність кутової швидкості від ковзання:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) = 104,6 \cdot (1 - s) \quad (10)$$

Рівняння механічної характеристики асинхронного двигуна:

$$M_{де} = \frac{-2 \cdot M_{кр}}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}} = \frac{-2 \cdot 2071,4}{\frac{s}{0,13} + \frac{0,13}{s}} = \frac{4142,8}{\frac{s}{0,13} + \frac{0,13}{s}} \quad (11)$$

Таким чином, в залежності від ковзання можна отримати рівняння механічної характеристики асинхронного двигуна і побудувати графік залежності моменту від кутової швидкості, який дасть можливість передбачити його поведінку під різними навантаженнями. Аналіз такої залежності дозволяє визначити оптимальні робочі режими двигуна, оцінити його стабільність та ефективність, а також передбачити можливі перевантаження і необхідність в корекції параметрів для досягнення максимального ККД. Це, в свою чергу, забезпечує надійну роботу насосного агрегату, збільшує його термін служби і знижує експлуатаційні витрати.

Важливу роль відіграє і механічна характеристика відцентрового насоса, яка визначається:

$$M_c(\omega) = M_{co} + (M_{c.ном} - M_{co}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2, \quad (12)$$

де $M_c(\omega)$ – момент опору при кутовій швидкості ω ; M_{co} – момент опору при нульовій кутовій швидкості; $M_{c.ном}$ – номінальний момент опору при номінальній кутовій швидкості $\omega_{ном}$; $\omega_{ном}$ – номінальна кутова швидкість; ω – поточна кутова швидкість.

Механічна характеристика відцентрового насоса дає уявлення про залежність між основними параметрами насоса, такими як напір, продуктивність (об'ємний потік), споживана потужність та ефективність, при різних умовах експлуатації. Механічна характеристика відцентрового насоса дозволяє:

- визначити робочу точку насоса, де його продуктивність та напір відповідають вимогам системи;
- оцінити ефективність перекачування рідини при певних умовах, що допомагає у виборі найбільш енергоефективного режиму роботи;
- передбачити зміни в роботі насоса при зміні умов експлуатації, таких як в'язкість рідини, висота всмоктування або тиск на виході;
- визначити необхідну потужність електродвигуна для забезпечення ефективної роботи насоса за графіком залежності споживаної потужності від продуктивності.
- аналізуючи механічну характеристику можна виявити потенційні проблеми, такі як кавітація або перевантаження, і вжити заходів для їх запобігання.

Таким чином, враховуючи рівняння механічної характеристики асинхронного двигуна та механічну характеристику відцентрованого насоса запишемо рівняння спільної механічної характеристики:

$$M_a(\omega) = M_{da}(\omega) - M_c(\omega) \quad (13)$$

Це рівняння описує взаємодію між насосом та електродвигуном у системі, враховує одночасно їх механічні характеристики, дозволяючи точніше визначити робочу точку всієї установки. Такий підхід забезпечує:

- оптимізацію робочої точки системи для максимальної ефективності;
- підвищує енергоефективність за рахунок підбору режимів роботи, при яких насос і двигун споживають мінімум енергії;
- надійність і стабільність роботи за рахунок уникнення небажаних режимів роботи (перевантаження або кавітація);
- планування технічного обслуговування, що дозволяє завчасно вживати заходів для запобігання аварійним ситуаціям.

Крім того, розуміння взаємодії насоса та двигуна допомагає в налаштуванні системи управління, що дозволяє автоматично підтримувати оптимальні режими роботи.

В нашому випадку, виконується умова прямої передачі (муфтове з'єднання) з використанням приводу за схемою асинхронного вентильного каскаду (АВК). В даному випадку може бути вибраний перетворювач стандартної серії КВІП (комплектний випрямно-інверторний перетворювач) призначений для роботи у складі електроприводу змінного струму за схемою асинхронно-вентильного каскаду (АВК). Перетворювач використовує регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна з фазним ротором (АД) з віддачею енергії ковзання ротора в мережу.

Функції, що виконуються перетворювачем:

- плавний пуск двигуна від нуля до необхідної швидкості обертання;
- тривала робота з частотою обертання, що встановилася, в межах зазначеного діапазону регулювання;
- стабілізація встановленої частоти обертання;
- гальмування механізму із заданим темпом;
- при використанні реверсів у ланцюзі статора – реверс напряму обертання;
- гальмування без реверсу;
- дотяжка без перемикання статора.

Перетворювач забезпечує стабілізацію напруги ротора електродвигуна, згладжування випрямленої напруги дроселем і подальше перетворення інвертором в змінну напругу частотою 50 Гц.

З виходу інвертора перетворена потужність ковзання електродвигуна повертається через високовольтний трансформатор. Завдяки цьому схема електроприводу має високий коефіцієнт корисної

дії. Регулювання величини ковзання ротора електродвигуна здійснюється шляхом введення регульованої проти електрорушійної сили в ланцюг ротора.

Основні переваги електроприводу за схемою АВК:

- відносна простота схемотехнічної реалізації досягається за рахунок зниженою напруги на роторних ланцюгах асинхронного двигуна, забезпечуючи високий рівень надійності системи;
- високий ККД установки, що досягається за рахунок рекуперації енергії ковзання АД в мережу живлення (скоротить термін окупності при модернізації існуючих установок);
- можливість зниження необхідної потужності перетворювача та високовольтного трансформатора при обмеженні діапазону регулювання швидкості. При пуску АД за допомогою роторної станції (або іншим способом) встановлена потужність АВК знижується пропорційно діапазону регулювання швидкості;
- можливість використання існуючих систем регулювання, що використовують роторні станції, як резервне обладнання.

ККД електроприводу як електромеханічної системи визначається добутком ККД силового каналу, а саме: добутком ККД перетворювача η_n , двигуна η_d та механічної передачі $\eta_{m,n}$

$$\eta = \eta_n \cdot \eta_d \cdot \eta_{m,n} \quad (14)$$

Напруга, що генерується ротором асинхронного двигуна, випрямляється випрямлячем, після чого інвертується назад до мережі інвертором. В такому випадку роторна станція, може служити резервом. Також вона може бути використана для початкового запуску асинхронного двигуна у випадках коли діапазон регулювання швидкості обмежений 30...60 % від номінального значення. Така схема дозволяє зменшити встановлену потужність трансформатора майже на 30...40%. Застосування такої схеми з випрямлячем та інвертором для роторної напруги асинхронного двигуна забезпечує підвищену надійність, ефективність та економічність роботи електроприводних систем.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дослідження, проведені з метою обґрунтування раціональних параметрів електроприводів насосних агрегатів для систем агропромислового комплексу, дали змогу досягти узагальнень, що суттєво впливають на ефективність і надійність експлуатації таких систем [8, с. 878].

Аналіз показав, що правильний вибір потужності та типу електродвигуна є критично важливим для забезпечення максимальної ефективності роботи насосних агрегатів. Виявилось, що оптимальний вибір параметрів залежить від кількох ключових факторів [3, с. 93]: об'єму перекачуваної рідини, необхідного тиску системи, швидкості та ефективності.

Дослідження підтвердили важливість врахування коефіцієнта корисної дії (ККД) при проектуванні систем «електродвигун-насос». Неправильний вибір параметрів призводить до надмірного споживання енергії та підвищеного зносу обладнання, що знижує загальну продуктивність системи. Регулювання характеристик системи насос-мережа та самого насоса виявилось ефективним способом підвищення енергоефективності.

Розглянуто кілька методів регулювання насосів, включаючи регулювання за допомогою трансмісії та зміни характеристик насоса. Регулювання через зміну частоти обертання асинхронного електродвигуна показало найвищу ефективність завдяки можливості точного підбору робочих режимів [6, с. 59]. Використання асинхронних двигунів з фазним ротором виявилось економічно вигідним та надійним рішенням для систем агропромислового комплексу.

Практичні розрахунки підтвердили, що застосування шків-пасової передачі для регулювання асинхронного електродвигуна є найбільш вигідним та економічним способом керування. Знижені вимоги до якості регулювання тиску та витрати дозволяють використовувати недорогі та прості у впровадженні шків-пасові передачі, що забезпечують економію електроенергії до 50%, зниження аварійності та підвищення надійності систем.

Дослідження механічних характеристик двигуна, таких як момент та частота обертання, дозволили отримати рівняння механічної характеристики асинхронного двигуна. Це дало змогу передбачити поведінку двигуна під різними навантаженнями та оптимізувати його робочі режими для досягнення максимальної ефективності [11, с. 43].

ВИСНОВКИ

Електроприводи насосних агрегатів є ключовими елементами, що забезпечують ефективну роботу систем агропромислового комплексу. Раціонально підібрані параметри електроприводу відіграють вирішальну роль у забезпеченні високої ефективності роботи насосних агрегатів.

Дослідження показали, що методи регулювання насосів, такі як зміна характеристик системи через трансмісію або безпосереднє регулювання частоти обертання двигуна, є ефективними інструментами для забезпечення оптимальної раціональної роботи насосних агрегатів. Використання асинхронних електродвигунів з фазним ротором є економічно вигідним та дозволяє досягти високого коефіцієнта корисної дії.

Регулювання швидкості обертання двигуна за допомогою перетворювачів частоти, таких як комплектний випрямно-інверторний перетворювач, забезпечує плавний пуск, стабілізацію частоти обертання та гальмування, що підвищує надійність та ефективність роботи системи. Система асинхронно-вентильного каскаду забезпечує високу ефективність завдяки рекуперації енергії ковзання в мережу.

Таким чином, правильний вибір електродвигуна та методів регулювання є критично важливим для досягнення максимальної ефективності насосних агрегатів. Аналіз механічних характеристик як електродвигуна, так і насоса, дозволяє оптимізувати робочу точку системи, знижуючи енерговитрати та підвищуючи надійність експлуатації насосних агрегатів, що є важливим фактором для стабільної та ефективної роботи систем агропромислового комплексу.

REFERENCES

- [1] Semenov, A., Kharak, R., Bychkov, Y., & Skrypnik, V. (2024). The efficiency of the controlled electric drive in water supply pump installations. *Slovak International Scientific Journal*, 82, 23–27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10952901>
- [2] Zakladnyi, O. M., & Zakladnyi, O. O. (2016). Otsinka enerhetychnoi ta ekonomichnoi efektyvnosti zastosuvannya reholovanoho elektropryvodu v nasosnykh ustanovkakh. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*. Seriya «Hirnyctvo», 16, 90–97 [in Ukrainian].
- [3] Al-Quraan, T. M., Vovk, O., Halko, S., Kvitka, S., Suprun, O., Miroshnyk, O., & Islam, K. A. (2022). Energy-saving load control of induction electric motors for drives of working machines to reduce thermal wear. *Inventions*, 7(4), 92. <https://doi.org/10.3390/inventions7040092>
- [4] Mirchevski, S. (2012). Energy efficiency in electric drives. *Electronics*, 16(1), 46–49. <https://doi.org/10.7251/ELS1216046M>
- [5] Holodnyi, I. M., Lavrinenko, Y. M., Kozyrskiy, V.V., & et al. (2015). *Reholovanyi elektropryvod*. Kyiv: TOV «TsP «Komprynt» [in Ukrainian].
- [6] Yurchenko, O. Y., & Barsukova, H. V. (2021). Vykorystannia chastotnoho peretvoriuvacha – diievyi ta zruchnyi sposib reholiuvannya shvydkosti nasosnoho ahrehatu. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu, Seriya «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv»*, 3(45), 57-63 [in Ukrainian].
- [7] Pavlenko, T. P., Donets, O. V., & Petrenko, O.M. (2018). *Avtomatyzovanyi elektropryvod zahalnopromyslovykh mekhanizmiv : konspekt lektsii*. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
- [8] Saidur, R. (2010). A review on electrical motors energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 877-898. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018>
- [9] Kondus, V. Y., & Kottenko, O. I. (2021). *Lopatevi nasosy : navch. posib*. Sumy: Sumskiy derzhavnyi universytet [in Ukrainian].
- [10] Resa, J., Cortes, D., Marquez-Rubio, J.F., & Navarro, D. (2019). Reduction of induction motor energy consumption via variable velocity and flux references. *Electronics*, 8, 740.
- [11] Fedirko, M. M., & Holovko, R. V. (2024). Termodynamichni imperatyvy modernizatsii elektropryvodu nasosnykh ahreativ merezhi tsentralizovanoho teplopstachannia v konteksti pidvyshchennia enerhoefektyvnosti. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnologii, ekolohiia*, 1, 39-44 [in Ukrainian].
- [12] Vasylyeha, P.O. (2022). *Elektropryvod robochykh mashyn : pidruchnyk*. Sumy: Sumskiy derzhavnyi universytet [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Semenov, A., Kharak, R., Bychkov, Y., Skrupnyk, V. (2024). The efficiency of the controlled electric drive in water supply pump installations. *Slovak International Scientific Journal*, 82, pp. 23–27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10952901>
- [2] Закладний О. М., Закладний О.О. (2016). Оцінка енергетичної та економічної ефективності застосування регульованого електроприводу в насосних установках. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія «Гірництво». № 16. С.90–97.
- [3] Al-Quraan, T. M., Vovk, O., Halko, S., Kvitka, S., Suprun, O., Miroshnyk, O., Islam, K. A. (2022). Energy-saving load control of induction electric motors for drives of working machines to reduce thermal wear. *Inventions*, 7(4), 92. <https://doi.org/10.3390/inventions7040092>
- [4] Mirchevski, S. (2012). Energy efficiency in electric drives. *Electronics*, 16(1), pp. 46–49. <https://doi.org/10.7251/ELS1216046M>
- [5] Голодний І.М. та ін. (2015). *Регульований електропривод : підручник*. Київ : ТОВ «ЦП «Компринт», 2015. 509 с.
- [6] Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В. (2021). Використання частотного перетворювача – дієвий та зручний спосіб регулювання швидкості насосного агрегату. *Вісник Сумського національного аграрного університету*, Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». № 3 (45). С.57–63.
- [7] Павленко Т.П., Донець О.В., Петренко О.М. (2018). Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів : конспект лекцій . Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 132 с.
- [8] Saidur, R. (2010). A review on electrical motors energy use and energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), pp. 877-898. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018>
- [9] Кондусь В.Ю., Котенко О.І. (2021). *Лопатеві насоси : навч. посіб.* Суми : Сумський державний університет. 293 с.
- [10] Resa, J., Cortes, D., Marquez-Rubio, J.F., Navarro, D. (2019). Reduction of induction motor energy consumption via variable velocity and flux references. *Electronics*, 8, 740.
- [11] Федірко М. М., Головка Р.В. (2024). Термодинамічні імперативи модернізації електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання в контексті підвищення енергоефективності. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. № 1. С.39-44.
- [12] Василега П. О. (2022). *Електропривод робочих машин : підручник* . Суми: Сумський державний університет. 290 с.

© Семенов А. О., Скрипник В. О., Харак Р. М., Супрович О. С.

Дата надходження статті до редакції: 17.07.2024

Дата затвердження статті до друку: 30.07.2024