

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

Середа А. І., Дюбко С. В.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Наведені способи регулювання подачі насосів системи водопостачання. Проаналізовані втрати системи водопостачання. Сформульована оптимізаційна задача і виведена цільова функція насосів системи водопостачання.*

**Постановка проблеми.** Проблема енергозбереження актуальна в даний час, тому що висока енергоємність внутрішнього валового продукту - проблема національної економіки.

Вважається, що в середньому по світу за рахунок економії можна зберегти до 30% енергії, в Україні потенціал енергозбереження - 40% [1].

Насоси і вентилятори - основні споживачі електроенергії (40%) - до справжнього часу обладнані найпростішим електроприводом і мають великий ресурс енерго- і ресурсозбереження головний резерв енергозбереження - управління режимом відцентрової машини (тиском і витратою) практично не використовується в Україні: більше 95% агрегатів загального застосування в усьому світі обладнані найпростішим нерегульованим електроприводом з асинхронними двигунами, які мають короткозамкнений ротор.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Регулювання подачі асинхронного електродвигуна насоса може бути здійснено двома шляхами:

1. Дроселювання - при незмінній частоті обертання регулювання відкриття засувки на напірному трубопроводі насоса.

2. Регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса - в цьому випадку виключаються втрати гідравлічної енергії і відбувається зміщення характеристики насоса при збереженні параметрів.

Показники якості регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна:

1. Діапазон регулювання - це відношення максимальної сталої швидкості електроприводу до мінімальної при зміні навантаження на валу двигуна в заданих межах.

2. Точність регулювання швидкості. Статична помилка характеризує реакцію електроприводу на додаток (зняття) навантаження.

3. Плавність регулювання. Цей показник характеризується числом штучних (регульовальних) характеристик при даному діапазоні регулювання.

4. Напрямок можливої зміни частоти обертання визначається розташуванням одержуваних штучних характеристик щодо природної характеристики двигуна.

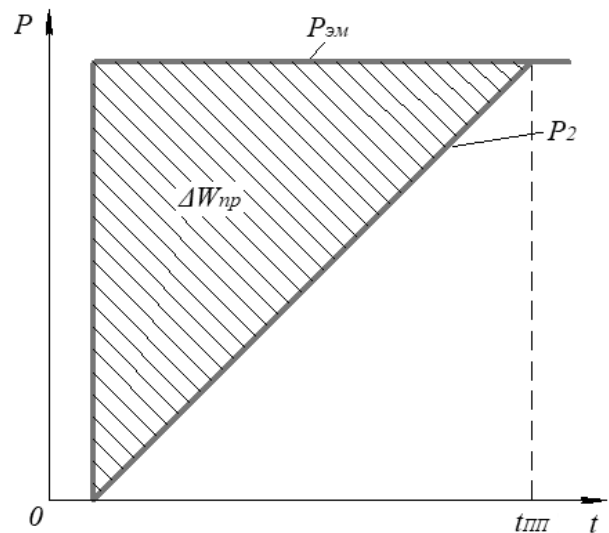
5. Стабільність при роботі на штучних характеристиках характеризується змінами частоти обертання двигуна при коливаннях моменту навантаження.

6. Економічність регулювання характеризується капітальними витратами, пов'язаними зі створенням системи електроприводу, і втратами електричної ене-

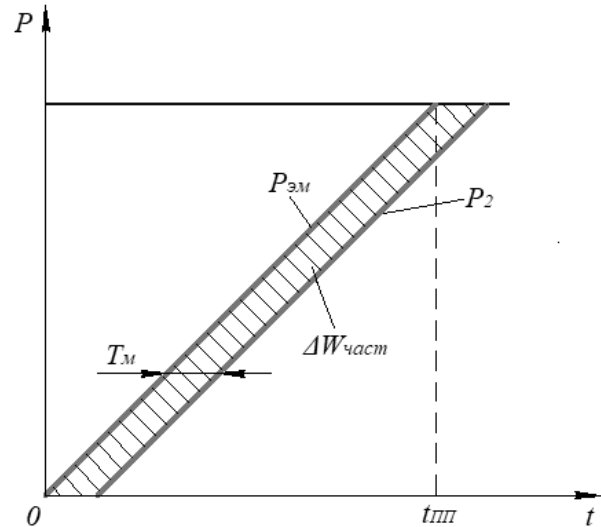
ргії, які мають місце при регулюванні частоти обертання.

На рис.1 показано розподіл втрат при прямому і частотному пуску.

Таким чином при частотному пуску істотно знижуються втрати енергії по порівнянню з прямим пуском, відповідно і термін служби електродвигуна збільшиться.



а)



б)

Рисунок 1 – Втрати енергії електродвигуна при прямому (а) і частотному (б) пуску

**Мета статті.** Навести способи регулювання подачі насосів системи водопостачання та проаналізувати втрати системи водопостачання.

**Основні матеріали дослідження.** Для економії електроенергії пропонується застосовувати перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму і оптимізованим алгоритмом управління, в системі прямооточного водопостачання.

При цьому буде споживатися тільки та кількість електроенергії, яка необхідна для створення відповідного тиску в системі водопостачання. Даний алгоритм реалізується шляхом введення зворотного зв'язку по тиску, і налаштуванням закону управління електроприводу, що дає найбільший ККД системи водопостачання.

Структурна схема системи автоматичного регулювання представлена на рис. 2.

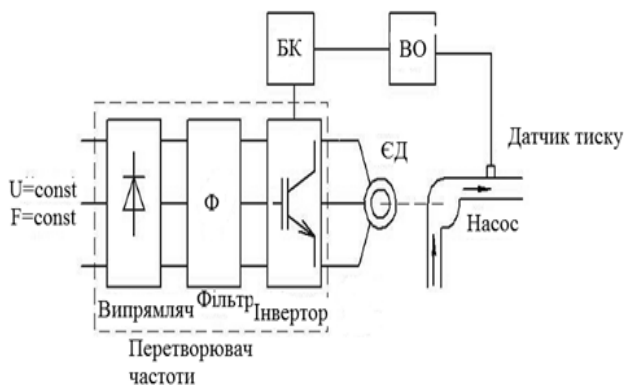


Рисунок 2 – Структурна схема системи автоматичного регулювання

Мета оптимізації зводиться до підвищення ККД системи, який збільшиться шляхом зменшення втрат в системі водопостачання. Втрати враховуються в кожному елементі системи: перетворювачі частоти, електродвигуні, насосі і в трубопроводі.

Проаналізувавши всі втрати [3] можна вивести цільову функцію системи, спрямовану на збільшення ККД агрегату

$$\eta_{AG} = \eta_{ПЧ} \cdot \eta_{ЕД} \cdot \eta_{ТМ} \cdot \eta_M \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $\eta_{ПЧ}$  – коефіцієнт корисної дії перетворювача частоти;

$\eta_{ЕД}$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна;

$\eta_{ТМ}$  – коефіцієнт корисної дії турбомеханізму (насоса);

$\eta_M$  – коефіцієнт корисної дії магістралі.

Для збільшення ККД агрегату необхідно досліджувати енергетичні показники окремих складових даної системи.

Динамічна складова напору [2], що розвивається насосною установкою, залежить від витрати води

$$h_{дин} = SQ^p, \quad (2)$$

де  $p$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу труби і їх терміну служби,  $p=1.8 \div 2$ .

Різниця значень між напором, що розвивається насосом, і напором, необхідним для подачі тієї чи іншої кількості рідини є перевищення напору понад необхідного

$$\Delta H = H_n - H_c. \quad (3)$$

Залежність перевищення напору від витрати  $Q$  і параметрів  $H_\phi$  і  $H_{cm}$ , характеризують крутизну характеристики насоса і трубопроводу

$$\Delta H = \Delta H_\phi \left[ 1 - \left( \frac{Q}{Q_\phi} \right)^2 \right], \quad (4)$$

де  $\Delta H_\phi = H_\phi - H_{CT}$ .

Напір  $\Delta H$  втрачається в затворах і засувках, дроселюючих напірних комунікаціях, в водозабірних кранах і іншій арматурі, через яку споживач відбирає рідину з системи.

На перевищення напору нерационально витрачається додаткова потужність, кВт

$$\Delta N = \frac{\rho g Q \Delta H}{1000 \eta} \sum Q_i \Delta H_i t_i. \quad (5)$$

Якщо насос працює на протязі часу  $t$  з перевищенням напору  $\Delta H$ , то кількість марно втрачається електроенергії, кВт \* год

$$\Delta W = \Delta N \cdot t. \quad (6)$$

Так як протягом розрахункового періоду подача і перевищення напору весь час змінюється, то одержуваний перевитрата електроенергії за розрахунковий період визначається як сума електроенергії, що витрачається в різні періоди часу роботи установки

$$\Delta W_\Sigma = \frac{\rho g}{1000 \eta} \sum Q_i \Delta H_i t_i \quad (7)$$

де  $Q_i, \Delta H_i$  – подача і перевищення напору за проміжок часу  $t_i$ .

Коефіцієнт корисної дії визначається як відношення споживаної з мережі активної потужності  $P$  і корисної потужності на валу двигуна  $P_{мех}$

$$\eta = \frac{P_{мех}}{P}. \quad (8)$$

ККД електроприводу представляється у вигляді добутку ККД перетворювача частоти  $\eta_{пч}$  і асинхронного електродвигуна  $\eta_{ов}$ .

Кожна зі складових ККД електроприводу записується через потужність втрат енергії відповідно в перетворювачі частоти  $\eta_{пч}$  і асинхронному двигуні  $\Delta P_{ед}$

$$\eta_{пч} = \frac{P_1}{P} = 1 - \frac{\Delta P_{пч}}{P_1 + \Delta P_{пч}}, \quad (9)$$

$$\eta_{ов} = \frac{P_{мех}}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P_{ов}}{P_{мех} + \Delta P_{ов}}. \quad (10)$$

При частотному способі регулювання швидкості визначальними для асинхронного електродвигуна є такі види втрат:

- втрати в обмотці статора ( $\Delta P_{1м}$ ) і обмотки ротора ( $\Delta P_{2м}$ ) обумовлені першими гармоніками струмів обмоток;
- втрати в сталі статора від гистерезиса ( $\Delta P_{с.г}$ ) і вихрових струмів ( $\Delta P_{в.с}$ );
- механічні втрати ( $\Delta P_{мех}$ )
- додаткові втрати ( $\Delta P_{доб}$ ), пропорційні квадрату основної гармоніки струму статора.

Сумарна потужність втрат енергії в асинхронному електродвигуні при частотному способі регулювання його швидкості визначається за формулою

$$\Delta P_{ов} = \Delta P_{1м} + \Delta P_{2м} + \Delta P_{с.г} + \Delta P_{в.с} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{доб} \quad (11)$$

Кожна зі складових сумарних втрат залежить від режиму роботи асинхронного електродвигуна.

У перетворювачі частоти з автономним інвертором напруги (АІН) при живленні його від некерованого випрямляча мають місце такі види втрат:

- втрати у вентилях некерованого випрямляча і силових ключах АІН;
- втрати в комутуючих реакторах і фільтрах електромагнітної сумісності на вході випрямляча, в реакторі фільтра ланки постійного струму, а також в вихідних фільтрах і реакторах в разі їх установки;
- втрати в конденсаторах фільтра ланки постійного струму і вихідного фільтра;
- втрати в захисних RC - ланцюгах.

Основну частку втрат в перетворювачі частоти (ПЧ) складають електричні втрати у вентилях випрямляча, ключах інвертора і реакторах. Точне визначення електричних втрат аналітичними методами ускладнене через складність обліку дискретних і нелінійних властивостей ПЧ, тому при розрахунку в ньому беруть допущення, які дозволяють відсіяти другорядні складові. До таких припущень відноситься зневага процесами у випрямлячі і інвертор, що дозволяє зробити опис процесів в ПЧ по безперервним, або корисним складовим.

**Висновки.** Таким чином, завдяки використанню регульованого електроприводу можливо зменшення гідравлічних втрат і споживання електричної енергії. Вступ оптимального закону керування дозволить зни-

зити витрати електричної енергії та поліпшити його енергетичні характеристики.

#### Список використаних джерел

1. Іллінський Н. Ф. Електропривід: енерго- і ресурсозбереження / Н. Ф. Іллінський, В. В. Москаленко. – М.: Видавничий центр "Академія", 2008. – 208 с. – ISBN 978-5-7695-2849-1.
2. Лезнов Б. С. Енергозбереження та регульований привід в насосних та повітродувних установках / Б. С. Лезнов. – М.: Вища школа, 2006. – 360 с. – ISBN 5-283-00806-1.
3. Браславський І. Я. Енергозберігаючий асинхронний електропривід / І. Я. Браславський, С. Д. Ішматов, В. М. Поляков. – М.: АСАДЕМА, 2004. – 202 с.
4. Дідур В. А. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод / В. А. Дідур, О. Д. Савченко // Прем'єр – Запоріжжя, 2005. – 464 с.
5. Кузнецов Е. В. Влияние транзитной скорости на отклонение потока при истечении через отверстия-водовыпуски / Е. В. Кузнецов // Тр. Кубан. СХИ. – Краснодар, 1980. – Вып. 172. – С. 115–122.
6. Черноморцева, В. Н. Гидравлический расчет поливного трубопровода, оборудованного капельницами / В.Н. Черноморцева // Докл. ВАСХНИЛ. – 1983. – № 2. – С. 40–41.

#### Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Серда А. И., Дюбко С. В.

*Приведены способы регулирования подачи насосов системы водоснабжения. Проанализированы потери системы водоснабжения. Сформулирована оптимизационная задача и выведена целевая функция насосов системы водоснабжения.*

#### Abstract

### RESEARCH OF REGULATED ELECTRIC DRIVE IN SYSTEMS WATER SUPPLY OF LIVESTOCK COMPLEXES

A. Sereda, S. Diubko

*Methods for regulating the supply of pumps for the water supply system are given. The losses of the water supply system are analyzed. The optimization task is formulated and the target function of the pumps of the water supply system is derived.*