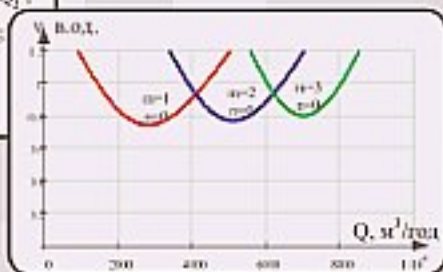


В. В. Грабко, М. М. Мошнорізі

# МЕТОД ТА ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ



$$\begin{aligned} H &= k_1 Q^2 A_1 + B_1 k_1 Q_1 + C_1 Q_1^2; \\ H &= k_2 Q^2 A_2 + B_2 k_2 Q_2 + C_2 Q_2^2; \\ H &= A_3 Q^2 + B_3 Q_3 + C_3 Q_3^2; \\ H &= H_0 + R_0 Q^2; \\ Q &= nQ_1 + nQ_2 + Q_3. \end{aligned}$$



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**В. В. Грабко, М. М. Мошноріз**

**МЕТОД ТА ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ  
РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ  
НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ  
ВОДОПОСТАЧАННЯ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2011

УДК 62-531.3: 62-83

ББК 31.291

Г75

Рецензенти:

**А. О. Лозинський**, доктор технічних наук, професор

**В. М. Кутін**, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 8 від 31 березня 2011 р.)

**Гرابко, В. В.**

Г75      Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с.

ISBN 978-966-641-425-3

В монографії здійснено огляд та аналіз існуючих підходів та засобів забезпечення насосною станцією потреб споживача у воді. Описано розроблений авторами новий метод визначення законів керування електроприводами насосів, при якому забезпечується зменшення споживання енергії та враховуються обмеження на прямий пуск. Описано синтезовані структури пристроїв керування.

Книга розрахована на інженерно-технічних працівників та працівників комунального господарства, що займаються експлуатацією електричних приводів насосів, а також може бути корисною студентам та аспірантам ВНЗ.

УДК 62-531.3: 62-83

ББК 31.291

ISBN 978-966-641-425-3

© В. Грабко, М. Мошноріз, 2011

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ВИМОГ ДО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСІВ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ .....	8
1.1. Насосна станція другого підйому. Особливості роботи .....	8
1.2. Регулювання продуктивності групи насосних агрегатів, що працюють паралельно .....	13
1.3. Аналіз методів та засобів для забезпечення ефективної роботи насосного агрегата .....	15
1.4. Вимоги до експлуатації електричних двигунів, які використовують для приводу насосів .....	23
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ .....	28
2.1. Визначення оптимального способу регулювання продуктивності насосної станції водопостачання .....	28
2.2. Визначення комбінацій ввімкнених двигунів насосних агрегатів .....	40
2.3. Визначення законів керування електричними двигунами насосних агрегатів при забезпеченні точного значення продуктивності .....	50
2.4. Визначення моментів ввімкнення чи вимкнення двигунів нерегульованих насосних агрегатів .....	57
2.5. Розробка методу оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання .....	61
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЬ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ НА МЕРЕЖУ СПОЖИВАЧА .....	64
3.1. Модель відцентрового насоса .....	64
3.2. Модель системи перетворювач частоти–асинхронний двигун .....	67
3.3. Модель регульованого насосного агрегата .....	71
3.4. Модель паралельної роботи насосів різних типів .....	73
3.5. Модель паралельної роботи насосних агрегатів на мережу споживача .....	76

3.6. Перевірка розробленого методу на комп'ютерній моделі системи водопостачання .....	80
<b>РОЗДІЛ 4. ЗАСОБИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ .....</b>	<b>84</b>
4.1. Пристрій керування запуском двигуна насосного агрегата .....	84
4.2. Мікропроцесорна реалізація пристрою керування запуском двигуна насосного агрегата .....	105
4.3. Пристрій керування регульованим насосним агрегатом .....	107
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>111</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>113</b>
Додаток А. Вибір двигуна та насоса .....	124
Додаток Б. Параметри оптимізації кількості працюючих насосів .....	126
Додаток В. Розрахунок параметрів оптимізації .....	128
Додаток Д. Розрахунок постійних часу насосів .....	132
Додаток Е. Модель асинхронного двигуна в ортогональній системі координат відносно потокозчеплень .....	135

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

АД	Асинхронний двигун
АІ	Автономний інвертор
ВН	Відцентровий насос
ЕЕ	Електрична енергія
ЕМСАК	Електромеханічна система автоматичного керування
ЕОМ	Електронна обчислювальна машина
ЕП	Електричний привід
ЗЗ	Зворотний зв'язок
КВ	Керований випрямляч
ККД	Коефіцієнт корисної дії
МВ	Мережа водопостачання
НА	Насосний агрегат
НС	Насосна станція
ППП	Пакет прикладних програм
ПЧ	Перетворювач частоти
СЧК	Система частотного керування
ФП	Функціональний перетворювач

## ВСТУП

Останнім часом, у зв'язку зі збільшенням вартості енергоресурсів все помітнішою стає тенденція до зростання цін на електроенергію [1, 2]. Ця обставина, а також висока енергоємність насосного обладнання (близько п'ятої частини енергії, яка виробляється в країні [2; 3, с. 54]) спонукають до пошуку нових методів та способів зменшення споживання електричної енергії електроприводами насосів при забезпеченні потреб споживача у воді [4]. Однією з сфер використання насосних агрегатів з приводом від двигунів середньої та великої потужності є системи водопостачання населених пунктів.

Подача води насосною станцією повинна відповідати потребам споживача, які змінюються протягом доби. Тому її продуктивність потрібно регулювати. Будь-яке відхилення продуктивності насосного агрегата від номінального значення призводить до додаткових витрат енергії. За таких умов великого значення надають оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання.

Для регулювання продуктивності насосної станції часто вдаються до зміни кількості працюючих насосних агрегатів, двигуни яких запускаються безпосередньо з електричної мережі. На двигуни середньої та великої потужностей накладаються технічні обмеження до прямого пуску, які доповнюються ще необхідністю витримки паузи між пусками. Тому при забезпеченні потрібного значення продуктивності насосної станції дуже важливим є врахування особливостей пуску двигунів насосів.

Найефективнішим способом отримання потрібного об'єму подачі води в мережу є використання регульованого електроприводу. Він, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегата за суттєвого зменшення споживання його двигуном електричної енергії. Не дивлячись на порівняно високу вартість перетворювального обладнання, його термін окупності незначний і може становити декілька місяців. Але насосна станція є багатозв'язною системою, у якій зміна параметрів одного насосного агрегата може вплинути на параметри інших. Тому, застосовуючи регульований привід, потрібно вирішити питання оптимальної сумісної роботи насосів та

доцільності установки перетворювачів на кожен двигун насосного агрегата.

У зв'язку з викладеним, актуальним є питання оптимального, за мінімумом витрат електричної енергії, керування приводами насосних агрегатів станції водопостачання, за якого насоси узгоджено працюють на мережу споживача, забезпечуючи потрібне значення продуктивності та враховуючи обмеження на прямий пуск привідних двигунів. [5;3, с. 148; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12, с. 10; 13].

Питання управління електроприводами насосних агрегатів для забезпечення потрібного значення продуктивності розглядаються у роботах Б. С. Лезнова (Московський технічний університет), А. А. Іскендерова (Азербайджан), М. Г. Поповича (Київський політехнічний інститут), О. І. Кіселічника (Київський політехнічний інститут), Т. В. Коренькової (Кременчуцький державний університет ім. М. Остроградського), К. Г. Гриценка (Донецький національний технічний університет), А. О. Лозинського (НУ «Львівська політехніка»), Р. С. Саїтбаталова (Казанський державний технічний університет), В. Д. Колотило (Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури), Є. М. Зоркія (Москва), М. Ф. Ільїнського (Московський енергетичний інститут), О. К. Аракеяна (Чувашський державний університет Ульянова), Г. Б. Онищенка (Московський державний загальнотехнічний університет), В. С. Бойка (Київ), наукових колективів «Триол», «Приводная техника», «КСК-Автоматизація», «Лівгідромаш», компанії «АДЛ», «ІРЗ», «Електротекст», «Сервотехніка», «Харківський водоканал проект», «Сименс» та ін.



# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ВИМОГ ДО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСІВ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ

### 1.1. Насосна станція другого підйому. Особливості роботи

Насосна станція (НС) призначена для перекачування рідини з джерела водозабору або резервуару чистої води в мережу водопостачання (МВ). Вода, яка забирається з джерела водозабору, насосами станції першого підйому подається в очисні споруди [14, 15]. Після очистки вода надходить до резервуару чистої води, з якого забирається другою групою насосів, встановлених на НС другого підйому, і по водоводах подається в МВ, яка подає воду до споживачів. Якщо МВ має значну протяжність, то систему водопостачання оснащують НС третього підйому, насоси яких підвищують тиск води у трубопроводах до потрібного значення.

Для досягнення потрібного значення продуктивності НС другого підйому виконується як група насосних агрегатів (НА), що працюють паралельно. Вона подає воду в трубопровідну мережу по двох водоводах. При такому з'єднанні кожен з насосів групи впливає на роботу інших насосів цієї групи [3, 16]. Це призводить до того, що подача, тиск, потужність і коефіцієнт корисної дії (ККД) кожного з них суттєво залежать від режимів навантаження агрегатів, що працюють сумісно [17, 18].

При однакових насосах підключення другого насоса паралельно першому збільшує подачу установки в 2 рази лише в тому випадку, коли загальний трубопровід системи не створює гідравлічного (або він не значний) опору [3, 16]. Чим більший гідравлічний опір трубопроводу, тим крутіше піднімається його характеристика і тим менше збільшується сумарна подача при ввімкненні другого насоса. Спостерігається і зворотне явище: якщо один із насосів, ввімкнених паралельно, відімкнути, то інші, що залишилися в роботі, самовільно збільшують подачу і потужність. Це пояснюється тим, що при вимкненні одного із насосів подача установки зменшується, гідравлічний опір загального трубопроводу падає, тиск у вузловому перерізі знижується

і насоси, які залишились в роботі, будуть працювати при зниженому тиску. Але зменшенню тиску при звичайних формах характеристик відповідає збільшення подачі і збільшення потужності.

Відповідно до [19] робочі насоси обладнуються певною кількістю резервних. Останні необхідно випробовувати не рідше одного разу за десять днів. Роботу насосних агрегатів з однаковою робочою характеристикою по можливості постійно чергувати.

Обов'язковим елементом гідравлічної семи є зворотні клапани, заправки на напірних лініях регульованих насосів, оскільки при роботі на малих частотах обертання можливий зворотний потік рідини [13, с. 127–128]. При виборі типу насосів і визначенні числа робочих агрегатів необхідно враховувати сумісну роботу насосів [3, с. 159; 2].

НС другого підйому працюють за ступінчастим графіком [3, с. 159]. Не завжди можна забезпечити потрібне значення продуктивності станції. Невідповідність цього значення потребам споживача призводить до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) паралельно працюючих агрегатів, що в кінцевому рахунку виливається у додаткові затрати електричної енергії. Якщо споживання води в мережі більше ніж подає її насосна станція, то насоси працюватимуть з низьким ККД [3, с. 159]. Якщо ж витрати в мережі менші, ніж подача насосів, то за рахунок саморегулювання насоси будуть розвивати тиск, більший ніж потрібно в мережі, і, як наслідок, загальний ККД НС буде зменшуватися.

До особливостей роботи насосних станцій слід віднести і те, що обладнання, якими вони оснащуються зазвичай має достатньо великий запас по потужності [20, с. 153]. Тому в трубопровідній мережі виникає надлишок тиску, а НА станції працюють з невисокими значеннями ККД. Крім того, значна протяжність споживача (населений пункт), розподілена трубопровідна мережа та різна висота підйому рідини для споживача зумовлює і нерівномірність розподілу тиску. Внаслідок чого НС вимушена працювати з підвищеним значенням тиску на напірному трубопроводі, що також погіршує ефективність роботи всієї системи водопостачання.

Таким чином, для роботи при номінальних значення тиску, продуктивність НС потрібно регулювати. Існують різні способи зміни продуктивності окремо працюючих насосів і досить обмежена кількість

способів регулювання продуктивності групи насосів, що працюють паралельно.

Сучасний стан розвитку техніки дозволяє в якості способу зміни продуктивності насосної станції використовувати найбільш економічно доцільний – регульований електропривід [13]. Відомо, що застосування останнього може привести до зменшення споживання турбоелектричної енергії на 25 % [21, с. 1].

Визначаючи число регульованих насосів, слід врахувати, що зменшення швидкості обертання одного з насосів може спричинити переваження нерегульованих насосів, вивести робочі точки нерегульованих насосів за межі робочої зони, зменшити ККД і в особливо несприятливих умовах викликати кавітацію. В такому разі регульований електропривід повинен бути встановлений на всіх НА, а зміна частоти обертання насосів, що працюють паралельно, повинна відбуватися одночасно на одне і те ж значення. Синхронна зміна частоти обертання забезпечується керуванням всіх насосів від загальної системи автоматики [13, с. 127].

Застосування регульованого електроприводу, крім економічності та плавності регулювання, дає можливість підвищити продуктивність станції без збільшення виробничих площ за рахунок збільшення одиначної потужності насосних агрегатів, оскільки їх лінійні розміри ростуть значно повільніше ніж потужність та продуктивність [13].

В [13] зазначається, що застосування регульованого електроприводу в системах водопостачання дозволяє зменшити не тільки електроспоживання двигунами насосів, а і покращити умови роботи самої системи. Мається на увазі «виключення непотрібних для комфортного водопостачання надлишків тиску, які виникають в процесі роботи СВ (системи водопостачання) – при зміні витрат, при рості тиску в магістральних гідромережах і т.п.». В джерелі [12, с. 10] зазначається, що для існуючих систем комунального водопостачання кожна зайва атмосфера, за рахунок більш сильних витоків з трубопроводу, призводить до 7–9% втрат води.

При застосуванні регульованого електроприводу найкращі економічні показники забезпечують системи з керованими перетворювачами частоти [22]. «Висока динаміка застосування РЕП і КСК на НС підтверджується аналізом продукції провідних світових виробників на-

сосного обладнання та матеріалів, опублікованих наукових досліджень у цій сфері».

У випадку, коли на НС встановлені регульовані і нерегульовані електроприводи, при керуванні ними необхідно передбачати зміну частоти обертання не лише регульованих НА, а і зміну кількості працюючих нерегульованих агрегатів. При цьому ввімкнення чи вимкнення нерегульованих двигунів повинно відбуватися завчасно, до того як подача регульованого НА зменшиться до нулевого значення, щоб виключити роботу насоса в зоні низьких ККД [13, с. 127].

Сучасний стан в розвитку техніки висуває вимоги до широкого застосування на насосних станціях сучасних систем автоматики та автоматизації. Конструкція насосної станції повинна передбачати можливість модернізації і розширення, заміни встановленого обладнання на більш потужне, яке забезпечувало б збільшення подач і тисків. Крім того, необхідно врахувати і те, що багато насосних станцій вже відпрацювали свій ресурс безвідмовної роботи і надалі продовжують працювати зі старим обладнанням. Це ставить вимогу перед обслуговуючим персоналом керувати насосним устаткуванням станції з врахуванням напрацьованого ресурсу обладнання, доцільності та глибини регулювання, енергоефективності керування тощо. Слід сказати і те, що існують випадки, коли в паралельній роботі беруть участь насоси з різними характеристиками, що ускладнює керування ними і призводить до завчасного виходу із ладу, частих поломок, невиправданих затрат енергії. Неправильне управління групою насосних агрегатів може призвести до роботи деяких з них поза робочою частиною характеристики з низьким ККД та значним споживанням енергії.

В роботі [23, с. 409–411] вказано на можливість керування групою насосів, що працюють паралельно, електроприводом серії ALTIVAR 58 виробництва Schneider-Electric. Для цього він оснащується додатковою платою. «Саме застосування плати для керування групою насосів дозволяє при допомозі тільки одного перетворювача частоти здійснити автоматичне керування групою до 5 насосів, забезпечуючи при цьому постійний тиск в трубопроводі при зміні витрат» [23, с. 409]. Принцип керування полягає в тому, що є певне значення продуктивності, яке може забезпечити один регульований насосний агрегат. При перевищенні цього значення перетворювач частоти видає сигнал на ввімкнення нерегульованого додаткового насоса. Одночасно з цим

автоматично зменшується частота обертання регульованого насоса. І навпаки, при зменшенні потрібного значення витрат більше за визначене значення, перетворювач частоти видає сигнал на зупинку нерегульованого насоса, а його продуктивність переймає на себе регульований. Вказано також, що вибір регульованого насоса та послідовності ввімкнення нерегульованих відбувається за одним з дев'яти алгоритмів керування насосами плати керування.

Відомі станції керування регульованим електроприводом насосів і вентиляторів «СУ-ЧЕ», призначені для автоматичного та ручного керування групою насосних агрегатів і вентиляторів з асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором.

Основними функціями станції керування є:

Для неавтоматичних станцій:

- підтримка заданого значення тиску на виході групи насосних агрегатів;
- забезпечення можливості підключення кожного з насосів до перетворювача частоти або мережі;
- забезпечення можливості керування перетворювачем частоти від системи, яка здійснює отримання і обробку інформації від об'єкта керування, або самого технологічного процесу та видачу сигналів керування на перетворювач частоти і насосні агрегати;
- перемикання на роботу насосів від мережі при аварії перетворювача частоти;
- забезпечення оперативного керування режимом роботи перетворювача частоти безпосередньо з панелі керування станції;
- можливість запуску і зупинки кожного насоса кнопками в режимі ручного керування прямим пуском від мережі;

Для автоматичних станцій:

- підтримання заданого значення тиску на виході групи насосних агрегатів;
- контроль за роботою насосів і перемикання на резервний насос при аварії робочого;
- перемикання на роботу насосів від мережі при аварії перетворювача частоти;

- автоматичне підключення одного або двох додаткових насосів при недостатній продуктивності робочого (для станцій з кількістю насосів більшою 2);
- автоматичне чергування ввімкнених насосів через задані інтервали часу для забезпечення рівномірного завантаження насосів;
- забезпечення оперативного керування режимом роботи перетворювача частоти безпосередньо з панелі керування станції;
- можливість запуску і зупинки кожного насоса кнопками в режимі ручного керування прямим пуском від мережі;
- видача на диспетчерський пульта сигналів про режими роботи станції.

До обмежень запропонованого пристрою керування групою насосних агрегатів слід віднести неефективність керування НС, оскільки зміна продуктивності одного НА не забезпечує такої ж зміни продуктивності всієї станції. Крім того, чергування роботи нерегульованих НА не забезпечує «рівномірне завантаження насосів».

## **1.2. Регулювання продуктивності групи насосних агрегатів, що працюють паралельно**

Як відомо, фактична подача НС визначається точкою перетину сумарної витратної характеристики насоса з характеристикою мережі. Тому змінити подачу можна або за рахунок зміни характеристики насосів станції або характеристики мережі. Відповідно до [3, с. 54; 24, с. 169; 25, с. 194; 26–30] розрізняють такі способи регулювання:

- зміною кількості робочих машин;
- зміною характеристики мережі водопостачання (дроселювання);
- зміною частоти обертання робочого колеса насоса (частотний спосіб регулювання, використання варіаторів частоти);
- зміною геометрії проточних каналів насоса і кінематики потоку на вході в робоче колесо (байпасування, використання напрямних апаратів).

На практиці часто використовується поєднання кількох способів регулювання подачі [3, с. 54; 31].

В результаті опрацювання джерел [3, с. 54; 4, с. 179–187; 24, с. 169; 29; 30; 32–35], отримано переваги та недоліки різних способів регулювання, наведених у табл. 1.1.

Більшість НС другого підйому України працюють в умовах, коли регулювання сумарної продуктивності станції відбувається неекономічними способами, наприклад дроселюванням. В результаті цього станція значну частину часу працює з низьким ККД, що призводить до втрат близько 30 % спожитої енергії [12].

При регулюванні продуктивності групи насосів, що працюють паралельно, з точки зору економічності регулювання, вигідним є одночасна зміна швидкості всіх насосів, що працюють паралельно [36, с. 42]. Але оскільки це пов'язано зі збільшенням капітальних затрат на обладнання всіх агрегатів регульованим електроприводом, то для більшості насосних станцій достатньо мати тільки один регульований агрегат. Глибоке регулювання продуктивності при цьому забезпечуватиметься відключенням окремих насосів [13; 37].

Враховуючи обмежену кількість можливих пусків потужних двигунів, до зміни кількості працюючих НА вдаються за нечастих змін навантаження [37].

Таблиця 1.1

**Аналіз різних способів регулювання продуктивності насосної станції**

Спосіб регулювання	Переваги	Недоліки
Дроселювання рідини в напірному трубопроводі	Простота реалізації	Неекономічність за рахунок наявності додаткового опору, можливість регулювання тільки в сторону зменшення
Пропускання частини рідини з напірної лінії у всмоктуючу	Покращує кавітаційні властивості насоса, підвищує стійкість його роботи	Зменшує коефіцієнт корисної дії системи за рахунок наявності циркуляцій потоків, потребує додаткового циркуляційного трубопроводу та установки додаткової арматури
Впуск повітря у всмоктуючий трубопровід	Більш економічний ніж дроселювання	Погіршує кавітаційні якості насоса

Спосіб регулювання	Переваги	Недоліки
Частотний спосіб регулювання	Найбільш економічний, оскільки зберігається матеріальний та енергетичний баланс системи, коефіцієнт корисної дії залишається високим при зміні частоти обертання, споживана потужність зменшується пропорційно третій степені швидкості обертання, економія перекачуваної рідини, зниження експлуатаційних затрат, підвищення якості виробництва, покращення інформованості про стан системи через покази ПЧ	Потребує установку додаткових регулюючих пристроїв і, як наслідок, значних затрат на забезпечення такого регулювання
Зміною кількості працюючих насосів	Економічність регулювання	Ступеневий характер зміни продуктивності, доцільний лише при тривалому характері зміни навантаження
Використання турбіни в пропускну трубопроводі насоса	Можливість рекуперації енергії	Додаткові затрати на установку турбіни та генератора

### 1.3. Аналіз методів та засобів для забезпечення ефективної роботи насосного агрегата

Ефективність у роботі насосного агрегата досягається підтриманням максимального значення його ККД. Останнє забезпечується застосуванням частотного способу регулювання.

Регульовані електроприводи насосів дозволяють оптимізувати їхню роботу в різних режимах, забезпечують плавний пуск, безступінчасте регулювання швидкості, роботу з необхідною швидкістю, високі енергетичні показники електроприводу (ККД, коефіцієнт потужності) [29; 30]. Це дозволяє досягти підвищення якості та ефективності роботи системи водопостачання.



В порівнянні з регульованими приводами постійного струму, частотно-регульовані електроприводи дозволяють скоротити витрати на експлуатацію, оскільки будуються на асинхронних двигунах.

Сучасні частотно-регульовані приводи, які мають внутрішню мікропроцесорну систему управління і оснащені стандартизованими інтерфейсами, надають інформацію про енергетичні (потужність, споживана електроенергія, коефіцієнт потужності, струми і напруга), виробничі (тривалість роботи, час пуску, час зупинки, аварійні ситуації) і технологічні (витрати, тиск, температура, відхилення поточного значення контрольованого параметра від заданого) параметри роботи самого привода і технологічного устаткування.

Найбільший ефект при використанні частотно-регульованих приводів виявляється при включенні їх в автоматизовані системи управління технологічними і виробничими процесами, як джерело інформації і як ланка управління технологічним процесом.

За допомогою частотно-регульованих приводів, разом з типовими датчиками і виконавчими механізмами, здійснюється своєчасний контроль ходу технологічного процесу і високоточне і надійне регулювання технологічних параметрів.

Крім того, виробничі і енергетичні параметри, що знімаються з частотно-регульованих приводів [29], забезпечують інформацією в режимі реального часу системи технічного обліку споживання енергоресурсів і системи управління виробничими процесами класу MES для оцінки ефективності використання технологічного устаткування і якості технологічного процесу.

Як показують розрахунки, підтверджені реальними умовами промислової експлуатації, термін окупності систем частотно-регульованого електроприводу складає від 0,5 року до 2-х років і постійно знижується у зв'язку із зростанням цін на електроенергію і енергоносії.

В країнах провідних виробників електротехнічного обладнання (Велика Британія, Данія, Фінляндія, Франція, США, Японія, Німеччина) вже давно серійно випускають енергозберігаючі частотно-регульовані електроприводи для насосних агрегатів. Сьогодні ці фірми здатні постачати такі електроприводи в діапазоні потужностей від одиниць до 1000 кВт і більше. На менші потужності (250–320 кВт) частотні регульовані електричні привода випускаються в Україні: з тиристорними

перетворювачами частоти – ХЕМЗ м. Харків та «Преобразователь» м. Запоріжжя), та транзисторні електроприводи – міжнародний консорціум «Энергосбережение» м. Харків.

Питання визначення оптимального режиму роботи НС розглядаються у роботі [38]. Продуктивність станції можна забезпечити комбінаціями увімкнених насосів. При цьому, одну і ту ж саму подачу можуть виконувати групи різних насосів. Обмеженням названого підходу є те, що продуктивності НА вважаються постійними, в результаті чого упускається питання регулювання подачі насоса. В цьому ж напрямі проведені дослідження в роботах [39; 40], де розглядається питання забезпечення потрібного значення продуктивності НС при можливості регулювання продуктивності НА. При цьому відхилення подачі від номінального значення враховується додатковими затратами енергії. При виборі оптимальних кількостей працюючих агрегатів запропоновано також враховувати тривалість напрацьованого ресурсу. Обмеженням цього підходу є неврахування сумісної роботи насосів, при якій подача кожного з них визначається режимом роботи машин, що працюють сумісно. Крім того, важко застосувати запропоновані підходи до частотно-регульованих приводів, оскільки зменшення продуктивності насоса у такий спосіб призводить до економії енергії, а не до її додаткових затрат.

Функціональна схема електромеханічної системи автоматичного керування (ЕМСАК) насосної установки, запропонованої в [41–44], показана на рис. 1.1.

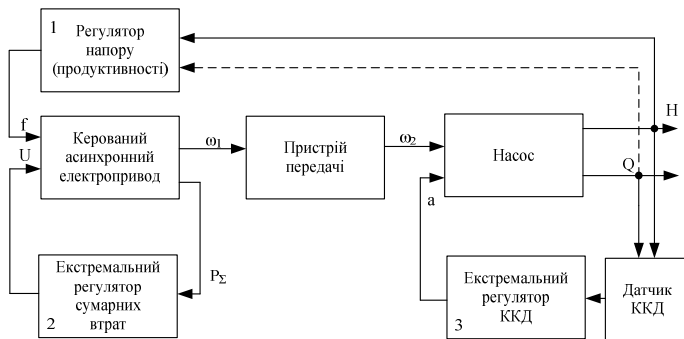


Рис. 1.1. Функціональна схема екстремальної енергозберігаючої ЕМСАК

Особливістю енергозберігаючої ЕМСАК є те, що головні технологічні завдання (із стабілізації  $Q$  або  $H$ ) виконуються за допомогою основного регулятора 1, а безпосередньо завдання енергозбереження ЕМСАК – її екстремальними системами автоматичного регулювання ККД електроприводу (ЕП) та ККД насоса (регуляторами 2, 3). Регулювання технологічного параметра (напору, продуктивності) здійснюється за рахунок зміни частоти напруги живлення асинхронного двигуна. Регулятор технологічного параметра забезпечує необхідні статичні та динамічні характеристики контуру. Екстремальний регулятор ККД насоса здійснює покроковий пошук положення засувки, при якому ККД об'єкта рівний максимальному значенню. Збуренням для контуру екстремального регулятора виступає періодична зміна режиму споживання, положення робочої точки. Екстремальний регулятор сумарних втрат у двигуні покроковими змінами напруги статора двигуна автоматично у пошуковому режимі визначає точку мінімуму втрат, яка відповідає новій величині навантаження. ЕМСАК працює в режимі коливання навколо потрібного значення контрольованого параметра [41; 43; 44]. Частота та амплітуда коливань вихідного параметра залежать від амплітуд та періодів змін  $U$  і  $a$ . Перехідні процеси в контурі технологічного параметра повинні завершуватись за час менший, ніж період зміни  $U$ , а час пошуку екстремуму втрат у двигуні не перевищувати період зміни  $a$ .

Велика увага при розробці енергозберігаючої системи в [41; 42] приділяється розробці математичної моделі насоса з екстремальним регулятором ККД та ЕМСАК насосної установки.

На рис. 1.2 показана структурна схема екстремальної енергозберігаючої системи, запропонованої в [41; 42], яка дозволяє підтримувати значення ККД насосної установки рівне максимальному.

Таким чином: «Побудова екстремальних енергозберігаючих ЕМСАК насосних установок можлива при організації автоматичного пошуку робочої точки з максимальним ККД насоса та мінімуму сумарних втрат в асинхронному електроприводі за умови стабілізації напору (продуктивності) при розташуванні вихідної робочої точки праворуч (ліворуч) від прямої максимального ККД» [41]. Додаткова економія енергії за рахунок екстремального керування залежить від положення вихідної робочої точки відносно прямої максимального ККД і може сягати більше 10 % загальних витрат енергії.

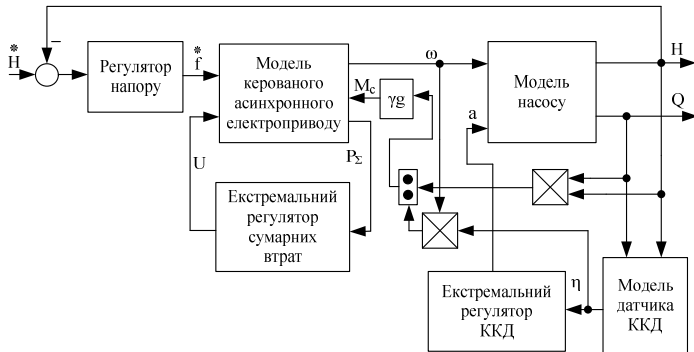


Рис. 1.2. Структурна схема екстремальної енергозберігаючої системи

Враховуючи велику потужність насосних установок, які часто сягають декількох МВт, термін окупності витрат на технічну розробку і впровадження екстремальних регуляторів не перевищуватиме одного року [41; 44].

Розглянутий метод енергозбереження не дозволяє досягти аналогічного результату при роботі насосної установки в групі насосів, що працюють паралельно, оскільки тиск, який надходить до датчика ККД, залежить від продуктивності всіх насосів.

В [45] розглядається питання підвищення енергоефективності систем міського водопостачання за рахунок вдосконалення методів управління НС з використанням електронних обчислювальних машин (ЕОМ). В умовах стохастичного середовища, характерних для міського водопостачання, завдання енергоефективного управління водопостачанням розв'язується шляхом планування режиму роботи насосних станцій і подальшого його стабілізації. Розроблено основні принципи управління системою міського водопостачання, що дозволяють оптимізувати її енерговитрати. Сформульовано умови оптимального з погляду енергоефективності розподілу навантаження між НС і цільовою функцією планування режиму роботи НС, що дозволяє здійснювати вибір насосних агрегатів (дискретне управління), які здатні з мінімальними енерговитратами виконати технологічне завдання з тиску і подачі на виході НС. Область допустимих управлінь НС сформульована у вигляді обмежень. На цій основі розроблено алгоритм планування оптимального режиму роботи НС, що дозволяє без гідравлічно-

го розрахунку водопровідної мережі з прийнятною для практики точністю оптимізувати склад працюючих НА за критерієм мінімізації витрат електроенергії. Розглянуто порядок розрахунку і сформульовані загальні рекомендації з настройки параметрів ПІ-регулятора тиску у диктуючій точці водопровідної мережі.

Обмеженнями запропонованих в [45] шляхів підвищення ефективності роботи НС є те, що задача планування оптимального режиму роботи станції не може бути вирішена без гідравлічного розрахунку водопровідної мережі; вони не враховують взаємний вплив машин, що працюють сумісно.

Питання підвищення точності і надійності керування режимом роботи двигунів магістральних насосів розглядається в роботі [46]. Запропоновано спосіб зменшення загальних затрат на встановлене обладнання та втрат електричної енергії на технологічний процес. Це все досягається керування роботою електричних двигунів, при якому контролюють потужність ввімкнених в роботу агрегатів та порівнюють її з заданою. У випадку виникнення різниці між контрольованою та заданою величинами потужності, змінюють кількість ввімкнених частотно-керованих електричних приводів магістральних насосів таким чином, щоб досягти зменшення цієї різниці.

Серед обмежень вказаного способу назвемо такі: по-перше, для реалізації того чи іншого закону керування НА станції необхідно контролювати тиск чи продуктивність на його виході, коли в пропонованому способі контролюється добуток тиску на подачу; по-друге, не завжди можливо забезпечити точне значення потрібної продуктивності НС.

Важливою задачею, яка стоїть перед фахівцями з забезпечення ефективної роботи насосного агрегата є задача вибору пристрою регулювання його продуктивності. Найкращим з точки зору економії споживаної електричної енергії при забезпеченні потрібного значення продуктивності є перетворювач частоти напруги живлення двигуна. Відповідно до [32, 33, 47] існують різні системи частотного керування електричним приводом. Серед них, як найбільш прості при реалізації, варто виділити розімкнені системи частотного керування [32; 33; 47].

На рис. 1.3 зображена функціональна схема системи частотного керування (СЧК), яка реалізує закон керування  $U_1/f_1^2 = \text{const}$ , який використовується для приводу турбомеханізмів [47].

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-425-3>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-425-3>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-425-3>

*Наукове видання*

**Грабко Володимир Віталійович  
Мошноріз Микола Миколайович**

**МЕТОД ТА ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ  
ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено М. Мошнорізом

Підписано до друку 29.08.2011 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. Арк. 7,97  
Наклад 100 прим. Зам № 2011-138

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.