

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КОРОТАЄВ ПАВЛО ОЛЕКСІЙОВИЧ



УДК 62.83

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОГО АГРЕГАТУ
З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизованих електромеханічних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Клепиков Володимир Борисович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри автоматизованих
електромеханічних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Острорехов Микола Якович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри теоретичної електротехніки

кандидат технічних наук, доцент
Коренькова Тетяна Валеріївна,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського,
доцент кафедри систем автоматичного
управління і електроприводу

Захист відбудеться « 30 » серпня 2016 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.04 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий « ____ » _____ 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Осичев О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією зі сфер, що споживають найбільші обсяги паливних енергетичних ресурсів, є житлово-комунальне господарство (ЖКГ). Основне споживання електроенергії (ЕЕ) в даній сфері припадає на електропривод (ЕП) турбомеханізмів (насосів, компресорів, вентиляторів, димососів і ін.). Такі електроприводи виконані, як правило, на базі електродвигунів змінного струму: асинхронних і синхронних, і в теперішній час є, в основному, нерегульованими. Як показує досвід, модернізація таких електроприводів переводом на частотно-регульований варіант забезпечує високу енергоефективність електромеханічної системи, як у частині прямої економії ЕЕ, так і за рахунок економії води, газу й ін.

Однією з гострих проблем ЖКГ у водопостачанні крім великих обсягів споживання енергетичних ресурсів є пориви водогінних мереж, що призводять до значних втрат води та переривів у водопостачанні споживачів. Причину частих поривів, як правило, пояснюють гідравлічним ударом. Класичний гідравлічний удар є реакція рідини, що рухається, на раптово зачинену засувку та, як відомо із літератури, підвищення тиску при цьому в 42 рази може перевершувати тиск на виході насосу. В той же час численні пориви водогінних мереж мають місце при пусках насосних агрегатів (НА) після нетривалої втрати електропостачання, за час якої рідина з магістралі не могла витекти, щоб забезпечилися умови класичного гідравлічного удару. У зв'язку з цим виникає доцільність визначення природи поривів, у тому числі з врахуванням хвильових процесів, що можуть виникнути в протяжній магістралі заповненій водою. Представляється також доцільним розглянути можливість усунення поривів засобами регульованого ЕП у складі електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами водогінної магістралі.

Таким чином, науково-практична задача підвищення енергоефективності ЕП НА за рахунок зниження втрат води та усунення поривів водопровідних мереж, що виникають при пусках насосних агрегатів, є актуальною та визначила напрям дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматизовані електромеханічні системи НТУ «ХП» відповідно до плану держбюджетних НДР МОН України: «Розробка систем енергозберігаючого електропривода з інтелектуальним керуванням» (ДР №0111U002271) та «Розробка енергозберігаючих технологій використання багатофункціонального перетворювача частоти для модернізації електроприводів турбомеханізмів системи ЖКГ» (ДР № 0113U001601), у яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є встановлення впливу пускових характеристик електроприводів насосних агрегатів на пориви водогінних мереж і визначення шляхів усунення поривів засобами частотно-керованого електроприводу.

Для досягнення цієї мети в роботі поставлені наступні задачі:

- проаналізувати процес водопостачання та оцінити роль електропривода у зниженні втрат енергії, зокрема через втрати води внаслідок поривів водогінних

мереж і витрат енергоресурсів на їх ремонт;

- обґрунтувати функціональну схему частотно-регульованого електроприводу насосного агрегату, що забезпечує енергоефективність в умовах технологічного процесу водопостачання, а також визначити пускові характеристики, що усувають пориви водогінних мереж;

- побудувати математичну модель нерегульованого електропривода насосного агрегату як електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами водопровідної магістралі та оцінити імовірність поривів магістралі при прямих пусках електропривода;

- установити вплив хвильових процесів на підвищення тиску у водопровідній магістралі та визначити закони зміни тиску по довжині магістралі;

- установити вплив параметрів водогінної мережі на підвищення тиску при пуску насосних агрегатів;

- побудувати математичну та комп'ютерну моделі електромеханогідравлічної системи з частотно-регульованим електроприводом і розподіленими параметрами водопровідної магістралі; провести комп'ютерне моделювання процесів пуску насосних агрегатів при різних параметрах водопровідної мережі;

- визначити закони керування частотно-регульованим електроприводом насосних агрегатів, що сприяють усуненню поривів водопровідних мереж у пускових режимах.

Об'єкт дослідження – статичні та динамічні процеси в електромеханогідравлічній системі електропривода насосного агрегату з урахуванням розподіленості параметрів водопровідної магістралі.

Предмет дослідження – пускові характеристики частотно-керованого асинхронного електроприводу насосного агрегату у системі перетворювач частоти – асинхронний двигун – насосний агрегат – водопровідна мережа.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувалися методи аналізу та синтезу для обґрунтування раціональної структури частотно-регульованого електропривода насосного агрегату; методи теорії автоматичного регулювання при обґрунтуванні структури частотно-регульованого електропривода насосного агрегату; методи теорії електропривода з урахуванням специфіки гідравлічного навантаження – при побудові математичної моделі електромеханогідравлічної системи ЕП НА, розрахунках, аналізі статичних і динамічних режимів її роботи; методи комп'ютерного моделювання (віртуальні моделі з бібліотеки Simpowersystems пакета MATLAB) використовувалися при розробці комп'ютерної моделі електромеханогідравлічної системи; методи математичного аналізу та розв'язку диференціальних рівнянь при складанні математичної моделі електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами.

Наукова новизна отриманих результатів:

- уперше на основі комп'ютерного моделювання досліджено процеси пуску електропривода насосного агрегату водогінної мережі після нетривалого зникнення живлячої напруги як процеси в електромеханогідравлічній системі з розподіленими параметрами з врахуванням виникаючих хвильових процесів, що дозволило встановити роль цих процесів в електромеханогідравлічній системі при пусках електропривода насосних агрегатів як причини поривів водогінних мереж;

- побудовано математичну та комп'ютерну моделі системи частотно-керованого асинхронного електроприводу насосного агрегату з урахуванням при пусках переміщення хвиль підвищеного тиску по водопровідній магістралі, які створюють періодично мінливий силовий вплив на стінки трубопроводу, що може привести до поривів на найбільш зношених ділянках;

- на основі комп'ютерного моделювання встановлено залежності кидків тиску від параметрів водопровідної мережі та керування електроприводом при пуску, розраховано тримірні часові діаграми тиску в трубопроводі, що дозволило запропонувати шляхи радикального зниження кидків тиску засобами системи автоматичного керування частотно-регульованого електропривода;

- показано, що пуск частотно-регульованого електропривода за лінійним законом зміни тиску на виході насосного агрегату сприяє усуненню надмірного підвищення тиску у водогінних мережах і визначені залежності раціонального часу пуску від довжини водопровідної магістралі.

Практичне значення отриманих результатів полягає у визначенні можливості зменшення поривів водогінних мереж і як наслідок втрат води, електроенергії, продовження терміну служби існуючих зношених водогінних мереж шляхом реалізації процесу пуску насосного агрегату за визначеними у роботі параметрами.

Впроваджений енергоресурсозберігаючий електропривод насосного агрегату на станції другого підйому с.м.т. Солоницівка (Харківській обл.) забезпечив економію електроенергії – 40,5%, води – 25%, зниження числа поривів водопровідної магістралі з 60 у рік до 8-10.

Результати, які отримані в ході виконання дисертаційної роботи, використовуються в навчальному процесі на кафедрі автоматизованих електромеханічних систем в НТУ «ХП» у лекційних курсах «Енергоресурсозбереження засобами електропривода», «Сучасні проблеми і методи математичного і комп'ютерного моделювання», «Теорія електроприводу» та «Нові фізичні та математичні методи керування» при підготовці магістрів за спеціальністю «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення й результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: створення математичної та комп'ютерної моделі електромеханогідравлічної системи електропривода насосного агрегату; моделювання перехідних процесів пуску насосного агрегату як електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами, побудова тримірних залежностей кидків тиску від параметрів водопровідної мережі і керування електроприводом при пуску та аналіз результатів моделювання; встановлення раціональних параметрів законів керування в залежності від параметрів водогінної мережі та вироблення рекомендацій з керування процесом пуску агрегатів насосних станцій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати, що виносяться на захист, доповідалися та обговорювалися і отримали позитивні відгуки на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» (с.м.т. Миколаївка, 2012 р., м. Харків, 2015 р.), «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації»

(м. Кременчук, 2012-2013 рр.), «Проблеми сучасної електротехніки» (м. Київ, 2014 р.); на Міжнародних науково-практичних конференціях: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2010 р.), «Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві» (м. Алушта 2011-2012 рр.); на щорічних наукових семінарах Національної академії наук України «Динаміка нелінійних електромеханічних систем» (м. Харків, 2011 – 2015 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в 11 наукових працях, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України (1 – видання, включеному до міжнародних наукометричних баз), 1 – іноземному періодичному фаховому виданні, 5 – у тезах та матеріалах доповідей науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 149 сторінок, з них: 46 рисунків по тексту; 36 рисунків на 22 окремих сторінках; список використаних джерел із 76 найменувань на 8 сторінках; 2 додатки на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, відображений її зв'язок з науковими програмами та темами; сформульовані мета і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладена наукова новизна, наведено дані про апробацію та практичне значення отриманих результатів; наведено кількість публікацій за темою дисертації і особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** для оцінки енергоефективності від модернізації ЕП НА з урахуванням синергетичного ефекту проаналізовано технологічний процес водопостачання на прикладі схеми водопроводу міста (рис.1). Вода за допомогою во-

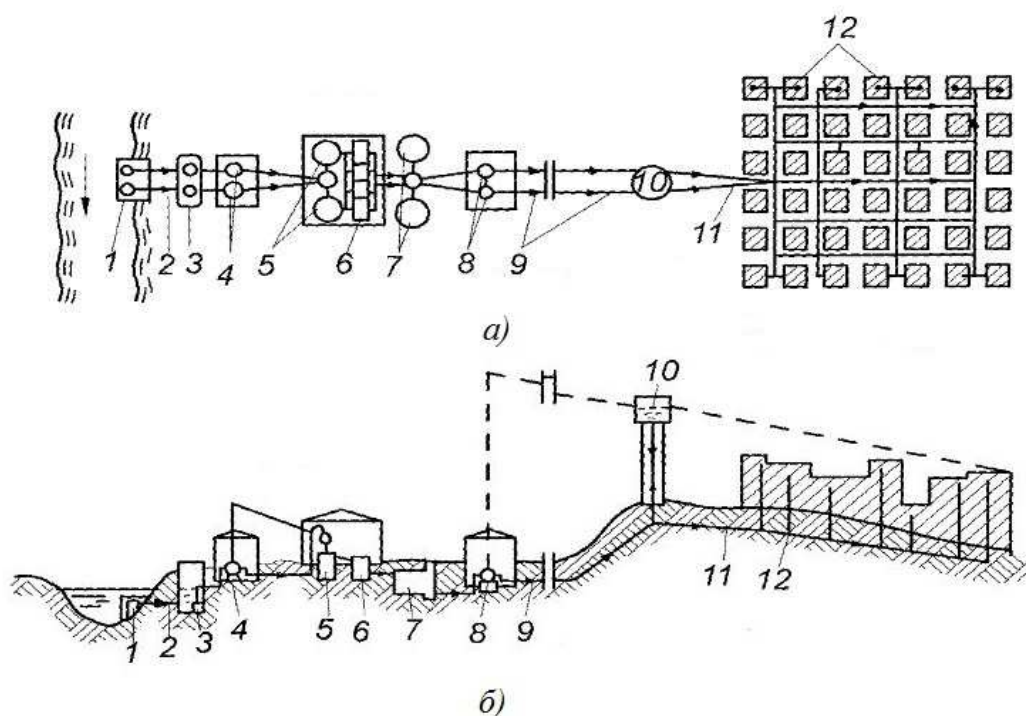


Рисунок 1 – Схема водопроводу міста; а) — план; б) — розріз

доприймача 1 забирається з ріки й по самопливних трубах 2 надходить у береговий колодязь 3, а з нього насосами першого підйому 4 подається у відстійники 5 і далі на фільтри 6 для очищення й знезаражування. З очисної станції очищена вода надходить у запасні резервуари чистої води 7, з яких вона насосами другого підйому 8 подається по водоводам 9 у напірно-регулююче спорудження 10, а також у магістральні труби 11 водопровідної мережі міста, по яких вода транспортується в різні райони міста та по мережі розподільних труб 12 до окремих споживачів.

Оцінюється роль електроприводу в зниженні втрат енергії та явище гідравлічного удару. Відзначений факт значних втрат енергії через втрати води при поривах водогінних мереж і витрат енергоресурсів на ремонт. Тільки невиробничі витрати енергії на транспортування, підготовку та відновлення каналізації об'єму зекономленої води в 4 рази перевищують показники економії по лічильникові на вході електроприводу. Тому доцільним є підвищення енергоресурсозбереження в ЖКГ шляхом керування електроприводом, що забезпечує зниження числа поривів.

Визначено, що автоматизований ЕП, як засіб оптимізації технологічних процесів, дозволяє суттєво скоротити як прямі, так і непрямі витрати електроенергії. При цьому має місце, так званий, синергетичний ефект множення економії електроенергії, що забезпечується не тільки зниженням споживання електроенергії по лічильникові, установленому на ЕП, але й за рахунок виключення енергетичних витрат на виробництво, транспортування зекономлених видаткових матеріалів, витрат на ремонт і відбудовні роботи в результаті оптимізації електроприводом технологічного процесу. Відзначено, що модернізація нерегульованого електропривода насосних станцій шляхом заміни на автоматизований частотно-регульований може забезпечити як економію електроенергії, а, отже, і економію первинних енергоресурсів, так і економію води. Використання частотно-регульованого електропривода дозволяє навіть незначним зниженням швидкості ЕП НА для забезпечення розрахункового напору суттєво знизити споживання електроенергії, кількість поривів водогінної мережі, а також створює передумови для повної автоматизації та оптимізації процесу водопостачання.

У **другому розділі** обґрунтовується вид функціональної схеми асинхронного електропривода насосного агрегату з від'ємним зворотним зв'язком по тиску на виході НА та з використанням перетворювача частоти ПЧРТ-03. Приводяться принципові схеми, характеристики й розрахункові співвідношення основних вузлів і елементів силового каналу, які використані при обґрунтуванні математичної та комп'ютерної моделей досліджуваної системи.

При визначенні вимог до ЕП НА, враховано доцільність комплексного вирішення проблеми підвищення енергоефективності за рахунок зниження поривів водогінної мережі. ЕП повинен забезпечувати зниження втрат енергії за рахунок регулювання швидкості обертання, а також зниження кількості поривів водогінних мереж і, як наслідок, втрат води. В цьому плані перспективно забезпечити живлення електродвигуна від напівпровідникового перетворювача. Враховуючи що у насосного агрегату приводним є асинхронний двигун, то електропривод доцільно будувати у вигляді частотно-регульованого з напівпровідниковим перетворювачем частоти.

Необхідність стабілізації напору в мережі насосних станцій обумовлена змінним характером режиму водоспоживання. Імовірнісний характер водоспоживання вимагає безперервних змін у режимі роботи насосної установки. Зміни повинні виконуватися так, щоб підтримувалися необхідні значення технологічних параметрів (подач, напорів) у системі в цілому та одночасно забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки.

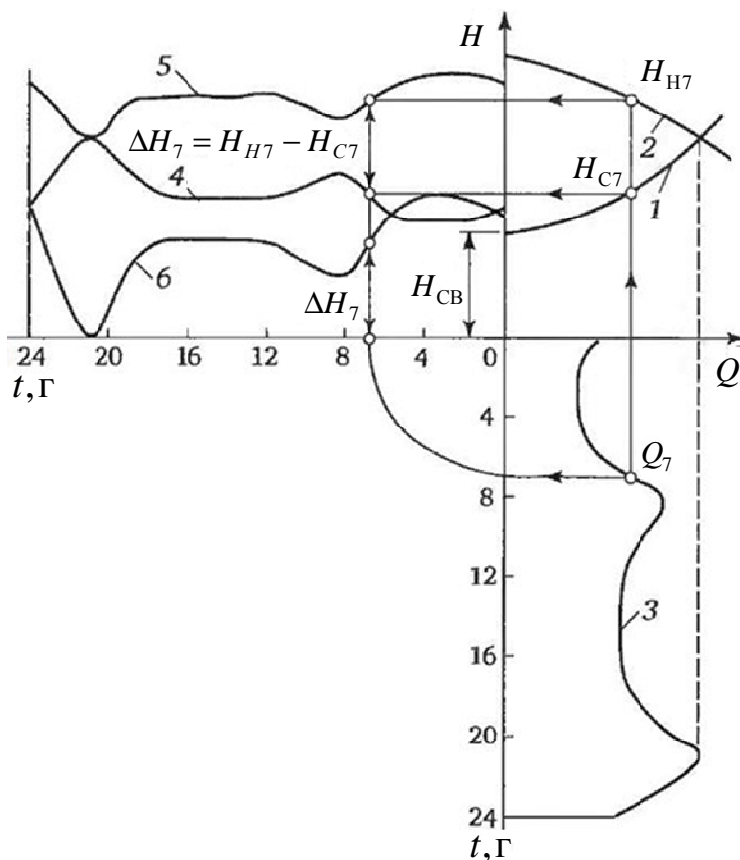
Це завдання вирішується системою керування насосної установки, що стабілізує тиск у мережі за заданим значенням. Основним параметром регулювання в системах, що стабілізують тиск у мережі, є напір. Стабілізація напору в забезпечує необхідний мінімум напору в мережі й знижує споживання енергії, що витрачається насосною станцією на подачу води.

Зміна швидкості обертання робочого колеса насоса від ω_1 до ω_2 веде до зміни всіх його робочих параметрів. При цьому змінюється положення характеристик насоса. Перерахування характеристик насоса на іншу швидкість здійснюється за допомогою формул приведення:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2, \quad \frac{N_1}{N_2} \approx \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^3, \quad (1)$$

де $Q_i, H_i, N_i, i=1,2$ – подача ($\text{м}^3/\text{с}$), тиск (м) і споживана потужність (Вт) насоса при швидкостях обертання робочого колеса ω_i (рад/с).

Як видно з (1) стабілізація тиску H_i виконується шляхом регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса.



Для регулювання швидкості обертання електродвигуна використовується перетворювач частоти. Зворотний зв'язок по тискові здійснюється датчиком тиску, сигнал з якого надходить на регулятор тиску, реалізований безпосередньо в перетворювачі частоти.

Побудову функціональної схеми частотно-регульованого ЕП НА зроблено виходячи з раніше зазначених співвідношень (1) і прикладу графіка добового водоспоживання на рис.2. Позначено: 1 - характеристика трубопроводу, 2 - напірна характеристика насоса, 3 - графік водоспоживання, 4 - необхідний напір на виході насосної станції, 5 - фактичний напір на виході насосної станції, 6 - зміни в часі надлишкового напору.

Рисунок 2 – Графіки добових змін напорів, що розвиваються насосною установкою

Графічно залежність необхідного напору H на виході з насосної станції від витрати Q зображена кривою 1. Якщо ця залежність дотримується, підтримується стабільний необхідний напір $H_{св}$. Однак цей напір при роботі насоса з постійною швидкістю обертання підтримується тільки в режимі максимальної подачі. У решті часу, коли насос працює зі зниженою подачею, наприклад о 7 годині, система працює з підвищеним напором. На рис.2 показано, як змінюється напір у різний час доби залежно від зміни подачі насосної установки.

Функціональна схема енергозберігаючого насосного агрегату представлена на рис.3, де введені наступні позначення: ПЧ – перетворювач частоти; U_1, f_1 – напруга й частота живлення мережі; U_2, f_2 – напруга й частота живлення двигуна; ω – швидкість обертання двигуна (M) і насоса; В – вентиль; ДТ – датчик тиску; H – вимірюване значення напору; H_3 – задане значення напору; $H_{п}$ – значення напору в споживача.

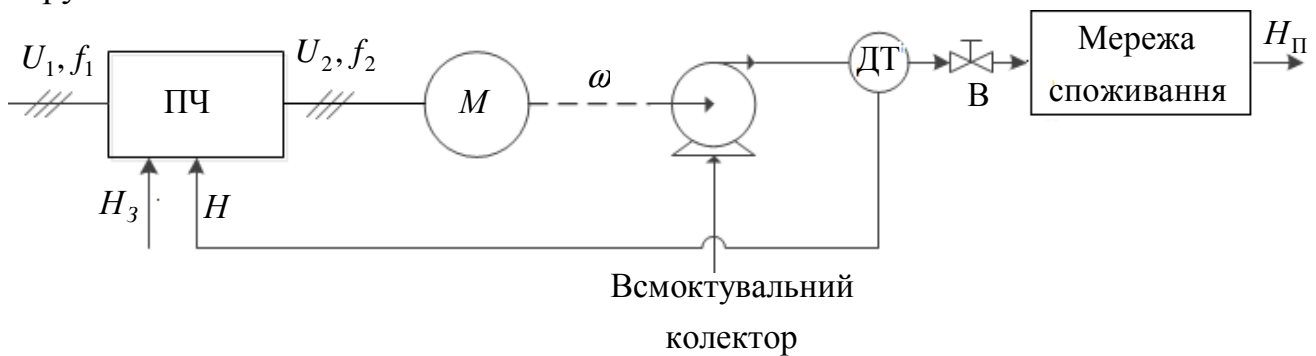


Рисунок 3 - Функціональна схема насосного агрегату

Щоб насосна установка працювала без перевищення напору при будь-якому водоспоживанні, запропоновано ввести додатково відповідну систему керування, на основі регульованого електроприводу. Така система керування укомплектована датчиком тиску, пропорційно-інтегральним регулятором, задатчиком значення регульованого параметру і каналом зв'язку між перетворювачем і регулятором. Дана система керування може легко інтегруватися в перетворювач частоти й не вимагає зовнішніх пристроїв керування.

Розроблений перетворювач частоти, впроваджений в дослідну серію на «Харківському приладобудівному заводі ім. Шевченка», та на базі якого здійснена модернізація ЕП насосної установки на насосній станції 2-го підйому с.м.т. Солоницівка, виконано як перетворювач з ланкою постійного струму. У перетворювачах цього класу використовується подвійне перетворення електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга з постійною амплітудою й частотою випрямляється у випрямлячі, згладжується фільтром, а потім знову перетворюється інвертором напруги у змінну напругу змінюваної частоти й амплітуди.

Частотно-регульований електропривод виконано по системі підлеглого регулювання з двома контурами. Зовнішній контур представлений контуром регулювання тиску, тому що це головний регульований параметр. Завдання на необхідний тиск надходить від пульта управління перетворювача. Зворотний зв'язок по тискові реалізовано за допомогою датчика тиску. У перетворювачі частоти сигнал зворотного зв'язку віднімається від сигналу завдання та надходить на

пропорційно-інтегральний регулятор частоти. З виходу регулятора частоти сигнал надходить на підлеглий контур струму. Контур струму фізично реалізований зворотним зв'язком по датчикові струму, який розташований усередині перетворювача. Сигнал від датчика струму віднімається від сигналу завдання на струм, сигнал помилки регулювання надходить на пропорційно-інтегральний регулятор струму. З виходу регулятора струму сигнал завдання на напругу надходить безпосередньо в вузол широтно-імпульсної модуляції. Контур регулювання швидкості обертання електродвигуна відсутній, тому що в технологічному процесі немає необхідності підтримувати швидкість обертання. Усі регулятори реалізовані програмно в мікроконтролері, що забезпечує стабільність їх роботи, простоту реалізації й налаштування.

У **третьому розділі** у зв'язку із припущенням про те, що причиною численних поривів водопровідної магістралі при пусках електроприводів насосних агрегатів є хвильовий характер процесів, автоматизований електропривод за запропонованою функціональною схемою (рис.2) аналізується як єдина електро-механогідравлічна система. При цьому водопровідна магістраль розглядається як лінія з розподіленими параметрами.

З достатнім ступенем точності в межах робочої зони напірна характеристика відцентрового насоса представляється параболою виду

$$H_{ex} = H_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 - R_{en} \cdot Q^2, \quad (2)$$

де R_{en} – внутрішній опір насоса, $\text{с}^2/\text{м}^5$ –

$$R_{en} = \frac{H_0 - H_n}{Q_n^2}; \quad (3)$$

H_n, Q_n – відповідно номінальний напір і подача насоса, м, $\text{м}^3/\text{с}$;

Внаслідок інерційності напір на виході робочого колеса насоса $H_{вих}$ змінюється за аперіодичним законом, який відповідає рівнянню

$$H_{ex} = T_n \cdot \frac{dH_{вих}}{dt} + H_{вих}, \quad (4)$$

де H_{ex} – напор на вході робочого колеса насоса, м; T_n – постійна часу, яка враховує динамічні властивості насоса, с.

При роботі турбомеханізма із протитиском H_c статичний момент M_c на валу турбомеханізмів описується залежністю

$$M_c = M_0 \cdot v^2 + (M_n - M_0) \cdot v \cdot \sqrt{\frac{H_0 \cdot v^2 - H_c}{H_0 - H_c}}, \quad (5)$$

де $v = \omega / \omega_{ном}$ – відносна швидкість обертання робочого колеса насоса, ω, ω_n – поточна й номінальна швидкості обертання насоса, с^{-1} ; H_0 – напір, який розвиває насос при нульовій подачі, м; H_c – протитиск у гідравлічній мережі, м, M_n – номінальний момент турбомеханізма, Нм; $M_0 = P_0 / \omega_{ном}$ – момент, Нм, обумовлений потужністю на валу турбомеханізма при нульовій витраті й номінальній швидкості обертання.

Водогінну магістраль представлено як мережу з розподіленими параметра-

ми системою рівнянь відомою з теорії гідравліки

$$\begin{cases} \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{g \cdot S} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{1}{S^2} \cdot \frac{Q \cdot |Q|}{2 \cdot g} = 0; \\ \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{g \cdot S} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

де $H = p/(\rho g)$ – напір, м; Q – витрата рідини в поточному перетині трубопроводу відповідно, м³/с; p – тиск у поточному перетині трубопроводу, Па; $S = \pi d^2/4$ – площа поперечного перетину, м²; d – діаметр трубопроводу, м; $\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{k_e}{d}\right)^{0,25}$ – безрозмірний коефіцієнт опору трубопроводу; k_e – коефіцієнт твердості труби, м; c – швидкість поширення ударної хвилі в робочому середовищі, м/с; ρ – щільність робочого середовища, кг/м³; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Розв'язок рівнянь (6) при відповідних початкових та граничних умовах за допомогою методу кінцевих різниць дозволяє представити трубопровідну мережу кінцевим числом ділянок з рівними параметрами та перейти від приватних похідних до різницевих аналогів

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial x} &= \frac{H_{\text{вих.}\delta} - H_{\text{вх.}\delta}}{l}; \\ \frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{Q_{\text{вих.}\delta} - Q_{\text{вх.}\delta}}{l}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $l = L/N$ – довжина ділянки трубопроводу; L – довжина трубопровідної мережі, м; N – число ділянок, на які розбито трубопровід; $H_{\text{вх.}\delta}$, $H_{\text{вих.}\delta}$ – напір на вході та виході ділянки, м; $Q_{\text{вх.}\delta}$, $Q_{\text{вих.}\delta}$ – витрата на вході та виході ділянки, м³/с.

Тоді для i -ої ділянки рівняння напору та витрати мають вид

$$\begin{cases} H_i - H_{i-1} + l_0 \cdot l \cdot \frac{dQ_i}{dt} + r_0 \cdot l \cdot Q_i \cdot |Q_i| = 0; \\ \frac{dH_i}{dt} + c_0 \cdot \frac{1}{l} \cdot (Q_i - Q_{i-1}) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

де $r_0 = \frac{\lambda}{2 \cdot g \cdot S^2 \cdot d}$; $c_0 = \frac{c^2}{S \cdot g}$; $l_0 = \frac{1}{S \cdot g}$ – питомі параметри ділянки трубопроводу; $H_i = h_i + h_{cm\ i}$, Q_i , $H_{i-1} = h_{i-1} + h_{cm\ i-1}$, Q_{i-1} – напір і витрата на виході та вході i -ої ділянки трубопроводу відповідно; $h_{cm\ i}$, $h_{cm\ i-1}$ – висота розташування кінця та початку i -ої ділянки щодо осі насоса відповідно, м; $h_i = \frac{p_i}{\rho \cdot g}$, $h_{i-1} = \frac{p_{i-1}}{\rho \cdot g}$ – абсолютний напір на виході й вході i -ої ділянки трубопроводу, м; p_i , p_{i-1} – абсолютний тиск на виході та вході i -ої ділянки трубопроводу, Па.

Споживач водопровідної мережі представляється характеристикою виду

$$H_{cn} - h_{cm} = R_{cn} \cdot Q_{cn}^2, \quad (9)$$

де H_{cn} , Q_{cn} – напір і витрата в мережі споживача, м, м³/с; R_{cn} – номінальний гідравлічний опір споживача, с²/м⁵; $H_{cn\ n}$, $Q_{cn\ n}$ – номінальний напір і витрата в ме-

режі споживача, м, м³/с; h_{cm} – статичний напір споживача, м.

Оскільки під час частотного керування робоча точка АД знаходиться на лінійній ділянці механічної характеристики, тому АД був прийнятий у вигляді моделі, у якій ланка електромеханічного перетворення енергії представлена аперіодичною ланкою першого порядку. Структурна схема АД може бути отримана при розгляді наступних співвідношень

$$\begin{cases} T_e \cdot \frac{dM}{dt} = \beta \cdot (\omega_0 - \omega) - M; \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_c, \end{cases} \quad (10)$$

де $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p_n}$ – кутова швидкість електромагнітного поля АД, рад/с; f_1 – частота живлення; p_n – число пар полюсів обмотки статора, M – момент АД, Нм; M_c – момент опору АД, Нм; T_e – електромагнітна постійна часу, с⁻¹; J – момент інерції двигуна.

ПІ-регулятор тиску представлено передатною функцією

$$W_p = k_p + \frac{k_p}{T_p \cdot p}. \quad (11)$$

На основі 2-11 побудована математична модель електромеханогідравлічної системи із частотним керуванням в структурній формі (рис. 4). Модель використовується в наступному розділі при комп'ютерних розрахунках процесів пуску електроприводу насосного агрегату.

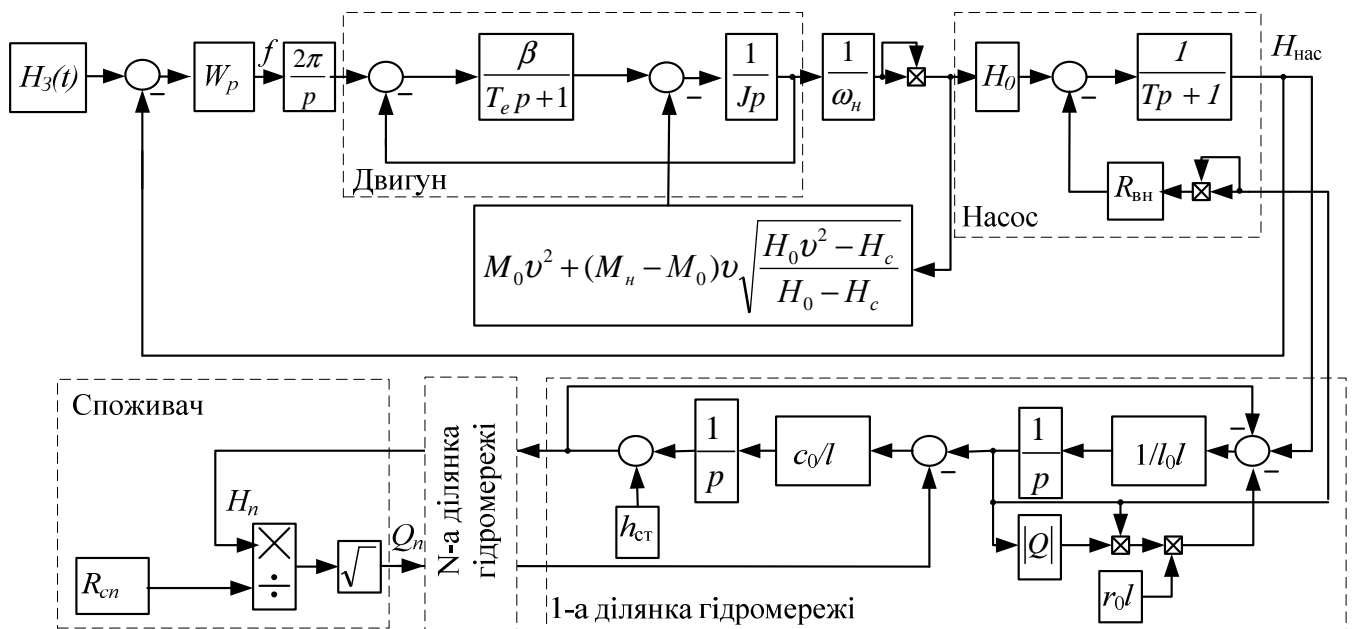


Рисунок 4 - Математична модель системи із частотним керуванням

У **четвертому розділі** виконується комп'ютерне моделювання процесів пуску електроприводу насосного агрегату при варіаціях параметрів електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами, аналіз часових діаграм

комп'ютерного моделювання, і оцінка їх відповідності фізичним процесам.

В пакеті програм Matlab здійснено комп'ютерне моделювання прямого пуску насоса від енергомережі із закритою й відкритою засувкою, установлені на останній ділянці гідромережі, яка являє собою еквівалент закритих або відкритих кранів споживача. Для розрахунків узяті $N=20$ ділянок трубопроводу. На рис. 5, 6 наведені часові діаграми зміни тиску в гідромережі.

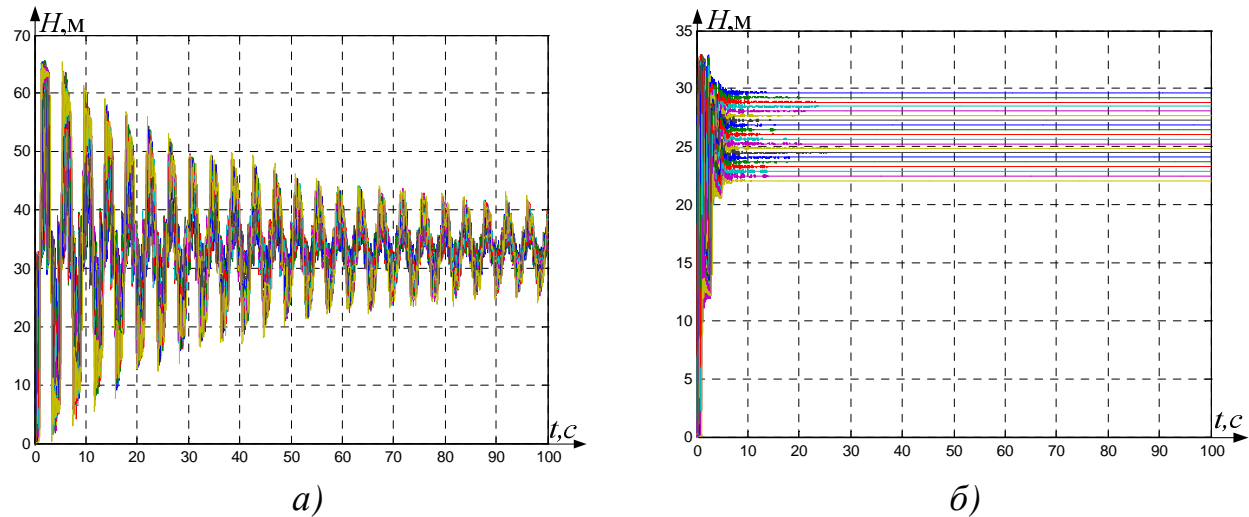


Рисунок 5 – Графік зміни тиску в гідромережі при прямому пуску насоса від енергомережі із закритою (а) і відкритою (б) засувкою в споживача на різних ділянках магістралі

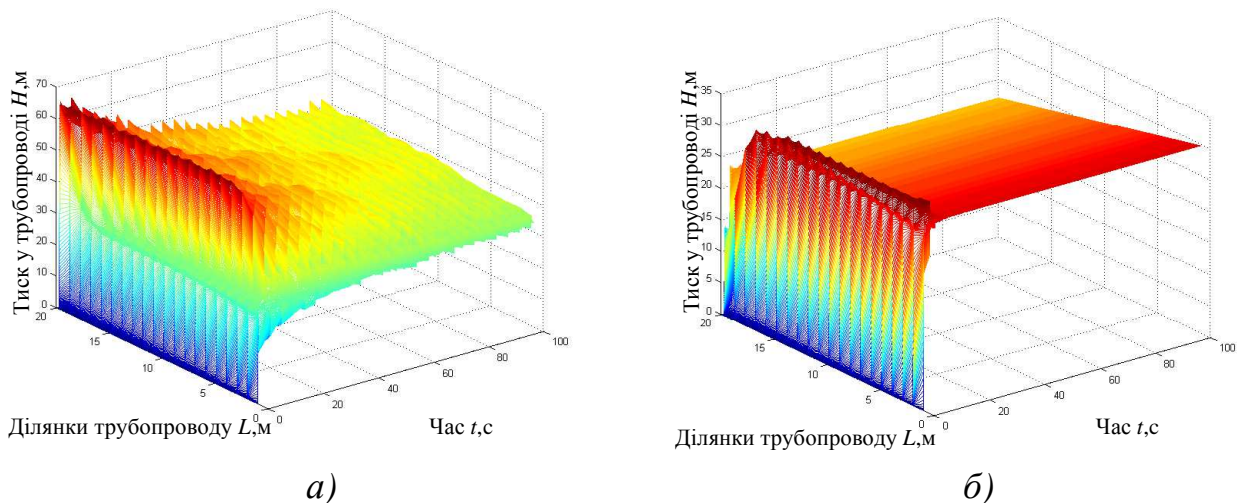


Рисунок 6 – Графік залежності тиску в гідромережі при прямому пуску насоса від енергомережі із закритою (а) і відкритою (б) засувкою в споживача

Аналіз показав, що при прямому пуску насоса із закритою засувкою на останній ділянці гідромережі відбувається підвищення тиску до $H_{\max}=65$ м, що в 2 рази вище номінального тиску насоса. При прямому пуску насоса з відкритою засувкою спостерігається суттєво менше в 1,8 рази підвищення тиску $H_{\max}=35$ м.

Для розуміння фізичної картини процесів, які проходять у трубопроводі, на рис. 7 наведені графіки зміни тиску по довжині трубопроводної магістралі, які ха-

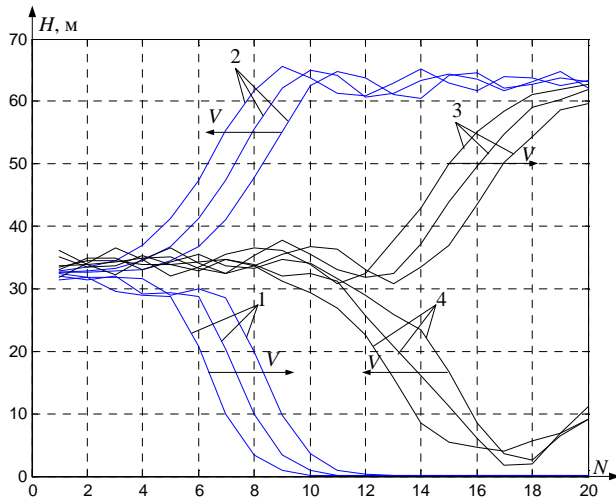


Рисунок 7 – Поширення хвиль гідродару по довжині трубопроводної магістралі при прямому пуску насоса із закритою засувкою наприкінці гідромережі

Такі хвильові процеси породжують змінний по величині, періодичний силовий вплив підвищеного тиску на стінки трубопроводу, особливо небезпечний для зношених ділянок, що призводить до пориву трубопроводу.

За результатами досліджень впливу параметрів водогінної мережі на підвищення тиску побудований графік залежності максимального тиску в трубопроводній магістралі від параметрів магістралі при прямому пуску НА (рис.8).

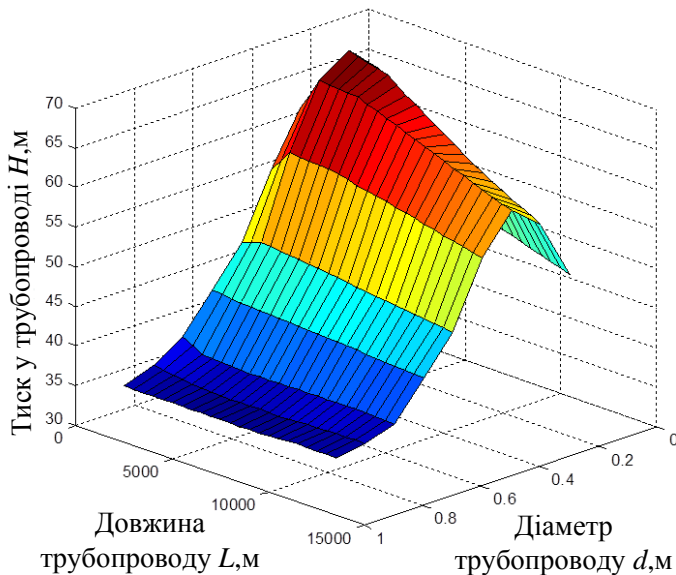


Рисунок 8 – Графік залежності максимального тиску в трубопроводній магістралі від довжини (L) і діаметра (d) магістралі при прямому пуску НА

системи частотного регулювання при пуску насосного агрегату дозволяє повністю виключити підвищення тиску; при закритій засувці підвищення тиску становить $H_{\max}=30$ м, що в 2,1 рази менше в порівнянні з максимальним підвищенням тиску при прямому пуску НА.

рактизують поширення хвиль тиску при прямому пуску насоса із закритою засувкою на останній ділянці гідромережі. Спочатку по трубопроводу поширюється хвиля тиску (1), яка при досягненні кінця трубопроводу відбивається від закритої засувки та у вигляді хвилі підвищеного тиску (2) рухається у зворотну сторону до насоса. Хвиля підвищеного тиску при підході до насоса відбивається від нього й починає рух до закритої засувки у вигляді хвилі (3). Далі процес багаторазово повторюється (виникає хвиля 4) і поступово згасає, а тиск у трубопроводі стає рівним H_0 .

Визначено, що при прямому пуску зі збільшенням довжини водопровідної магістралі тиск зменшується, а чим більше діаметр трубопроводу, тим максимальний менше.

На рис.9, 10 наведені графіки зміни тиску в трубопроводній магістралі при плавному запуску насоса від перетворювача частоти з закритою та засувкою наприкінці гідромережі, за умови, що тиск на виході насоса змінюється за лінійним законом, а час виходу насоса на сталий режим становить 7 с. Із графіків видно, що використання

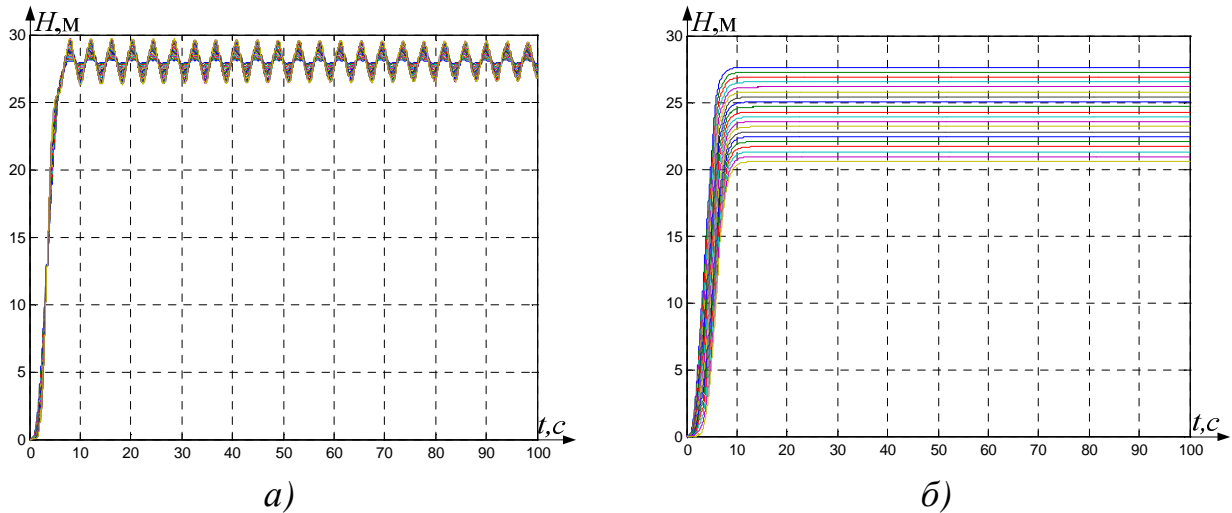


Рисунок 9 – Графік зміни тиску в гідромережі при плавному запуску насоса із закритою (а) та відкритою (б) засувкою на різних ділянках магістралі

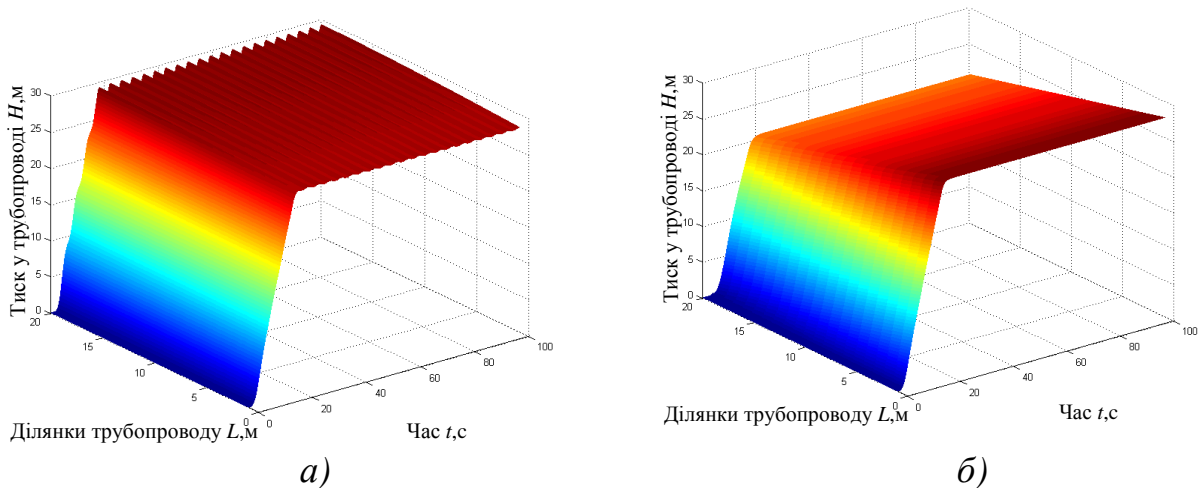


Рисунок 10 – Графік залежності тиску в гідромережі при плавному запуску насоса із закритою (а) і відкритою (б) засувкою в споживача

Використання системи регульованого ЕП насоса надає можливість плавної зміни технологічних параметрів НА. На рис. 11 наведено залежність максимального тиску в гідросистемі в залежності від часу пуску електропривода насосного агрегату при довжині трубопроводу $L=1000$ м. Визначено (рис. 11), що часу пуску $t=15$ с досить, щоб максимальний тиск у гідромережі при пуску НА не перевищував 5% номінального значення. На рис.12 наведена залежність часу пуску від довжини водопровідної магістралі, при котрій тиск у магістралі не перевищує 5% номінального значення.

Таким чином, основною причиною частих поривів водогінних мереж є хвильові процеси, які виникають при прямому пуску електропривода насосного агрегату та супроводжуються підвищенням тиску у водопровідній магістралі. При цьому в умовах зношеності труб хвиля підвищеного тиску при проході через найбільш слабку ділянку викликає порив магістралі. Проведеними дослідженнями показано, що для істотного зниження кидків тиску перспективним є використання засобів регульованого електропривода шляхом поступового підвищення швидко-

сті обертання колеса насосного агрегату.

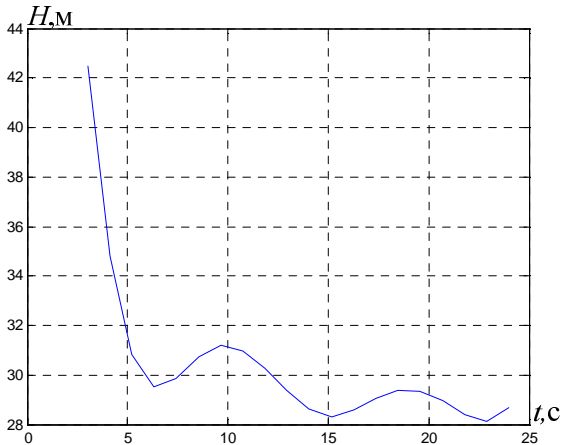


Рисунок 11 – Залежність максимального тиску в магістралі від часу пуску

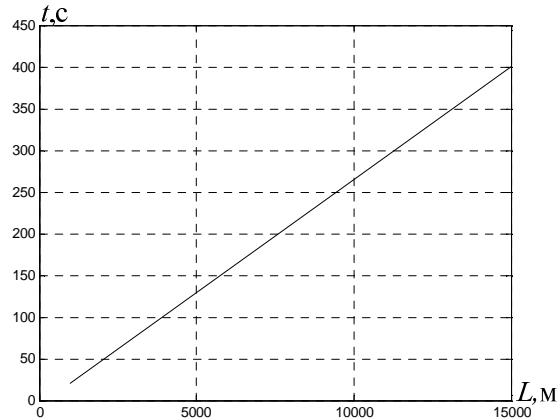


Рисунок 12 – Залежність часу пуску електроприводу НА від довжини водопровідної магістралі

У п'ятому розділі виконано опис модернізації насосного агрегату за допомогою перетворювача частоти типу ПЧРТ потужністю до 22 кВт, для використання у якості регульованого енергозберігаючого електропривода механізмів загальнопромислового призначення.

Дані електроприводи з ПЧРТ призначені для керування трифазними асинхронними електродвигунами потужністю від 0,25 до 22 кВт на базі автономного інвертора напруги з використанням у якості силових ключів сучасних силових приладів (IGBT- транзистори) і мікропроцесорного керування із застосуванням мікроконтролерів фірми ATMEGA.

Електропривод із ПЧРТ забезпечує:

- плавний пуск і розгін електродвигуна до встановленої швидкості із заданим темпом;
- роботу зі сталою швидкістю обертання при зміні моменту опору від нуля до номінального;
- автоматичне повторне включення перетворювача при зникненні напруги живильної мережі з регульованою затримкою 1...99 с;
- пропорційно-інтегральне регулювання технологічного параметра;
- параметричне керування вихідною напругою перетворювача у функції частоти;
- обмеження струму на заданому рівні;
- дистанційне керування (від пульта керування (до 1200 м), від зовнішньої автоматичної системи керування (АСК) або персонального комп'ютера по інтерфейсу RS485 або RS232, від зовнішнього АСК аналоговими та дискретними сигналами);
- підтримку стандартного протоколу Modbus;
- діагностику технічного стану й режимів роботи ПЧ, реєстрацію аварійних режимів.

Проведена дослідна експлуатація електроприводів із ПЧРТ-03-22 на насосній станції с.м.т. Солоницівка: сумарне споживання електроенергії за період з

24.03.14 р. по 04.04.14 р. із ПЧРТ склало 2496 кВт·г. Для порівняння взятий аналогічний проміжок часу в період з 24.03.08 р. по 04.04.08 р., де споживання складо 3720 кВт·г. Таким чином, економія електроенергії становить 1224 кВт·г, середньодобова економія – 102 кВт·г. Крім прямої економії установка частотного перетворювача на насос подачі води: стабілізує тиск води в споживача на заданому рівні з точністю $\pm 5\%$; продовжує термін служби устаткування насосної станції за рахунок більш низької швидкості обертання насосного; знижує число поривів у системі; виключає ручні операції із засувками. Оцінка за результатами випробувань призводить до висновку, що строк окупності від модернізації складе не більш 6-8 місяців.

Результат експлуатації показали істотне зниження числа поривів водогінної мережі, а також істотну економію електроенергії, що свідчить про доцільність широкої модернізації електропривода насосних станцій переключенням їх на частотно-регульований варіант.

У додатках представлені акт впровадження результатів модернізації ЕП насосного агрегату з перетворювачем частоти ПЧРТ-03 на насосній станції с.м.т. Солоницівка; акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес в НТУ «ХП».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-технічна задача розробки енерго-ресурсозберігаючого електроприводу насосного агрегату з покращеними пусковими характеристиками, що забезпечив зниження поривів водогінних мереж, втрат води та підвищення економії електроенергії.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Досліджені процеси пуску електроприводу насосного агрегату водогінної мережі після нетривалого зникнення живлячої напруги як процеси в електромеханогідравлічній системі з розподіленими параметрами та визначені часові залежності зміни тиску по довжині магістралі. Це дозволило встановити, що основною причиною частих поривів водогінних мереж є хвильові процеси, які виникають при прямому пуску електропривода насосного агрегату.

2. Обґрунтована функціональна схема частотно-регульованого електропривода насосного агрегату, що забезпечує енергоефективність в умовах технологічного процесу водопостачання, а також можливість поліпшення пускових характеристик, що усувають пориви водогінних мереж.

3. Побудовані математична та комп'ютерна моделі нерегульованого електропривода насосного агрегату як електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами водопровідної магістралі, що дозволило дослідити процеси пуску.

4. Визначено вплив параметрів водогінної мережі на підвищення тиску при пуску насосних агрегатів. Встановлені залежності кидків тиску від параметрів водопровідної мережі та керування електроприводом при пуску, розраховані триміні часові діаграми тиску в трубопроводі та запропоновані шляхи радикального зниження кидків тиску засобами САР частотно-регульованого електропривода.

5. Побудована математична та комп'ютерна моделі процесів електромеханогідравлічної системи з частотно-регульованим електроприводом і розподіленими параметрами водопровідної магістралі та виконано комп'ютерне моделювання процесів пуску насосних агрегатів при різних параметрах пуску та водогінної мережі. Показано, що пуск частотно-регульованого електропривода за лінійним законом зміни тиску на виході насосного агрегату сприяє усуненню надмірного підвищення тиску у водогінних мережах, визначені залежності рекомендованого часу пуску від довжини водопровідної магістралі.

6. Результати дисертаційної роботи передані для впровадження філії ХОКП «Дирекція розвитку інфраструктури території» «Солоницівське ПКГ», а також впроваджені в навчальний процес кафедри автоматизованих електромеханічних систем НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. К итогам эксплуатации энергосберегающего электропривода станции второго подъема п.г.т. Солоницевка / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев, Е.Ф. Банев, А.Н. Моисеев, А.В. Тимошенко, Л.Н. Сивоконь, В.И. Хоменко, В.И. Максюк, В.Н. Ткач // Энергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – Харків: ТОВ «Північно-східна енергетична компанія «СВЕКО». – 2011.– №5(87). – С. 15 - 18.

Здобувачем показана висока ефективність модернізації електропривода на базі частотно-регульованого перетворювача з точки зору економії електроенергії, води та скорочення поривів водопровідної мережі.

2. Коротаев П.А. Управление динамическими нагрузками в трубопроводных сетях средствами регулируемого электропривода насоса / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев, А.М. Кравец // Приводная техника. – Москва: ООО НПФ «ОБРИС». – 2012. - №1(95). – С.24 – 30.

Здобувачем оцінено можливість поривів водопровідних мереж внаслідок хвильових процесів, що виникають при запуску насосних агрегатів.

3. Коротаев П.А. Влияние параметров пуска электропривода насосного агрегата на давление в водопроводной сети как линии с распределенными параметрами / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ. – 2012. – вип. 3(19). – С. 202-204.

Здобувачем встановлено взаємозалежності параметрів законів керування від параметрів водопровідної мережі та розроблені рекомендації з керування процесом пуску насосних агрегатів, що знижують кидки тиску у водогінній мережі.

4. Коротаев П.А. К причинам порывов водопроводных систем при пусках электроприводов насосных агрегатов / П.А. Коротаев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ«ХП». – 2013. – вип. 36 (1009). – С.371-373.

5. Коротаев П.А. Волновые процессы в электромеханогидравлической системе при пуске электропривода насосного агрегата / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев // Технічна електродинаміка – Київ: ІЕД НАНУ. – 2014. – №5. – С. 131–133.

Здобувачем запропонована комп'ютерна модель електромеханогідравлічної системи із частотно-регульованим електроприводом і розподіленими параметрами водопровідної магістралі та виконано комп'ютерне моделювання процесів пуску насосних агрегатів.

6. Коротаев П.А. Особенности пуска электроприводов насосной станции после аварийного отключения / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – вип 12(1121).–С. 228-233.

Здобувачем виконано комп'ютерне моделювання електромеханогідравлічної системи з двома електроприводами насосних агрегатів, що працюють на єдину систему водозабезпечення.

7. Опыт внедрения регулируемого электропривода с преобразователем частоты ПЧРТ-03 на насосной станции второго подъема поселка городского типа Солоницевка / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев, Е.Ф. Банев, А.Н. Моисеев, А.В. Тимошенко, Д.А. Пшеничников, Н.К. Олейниченко, А.В. Хорева // Матеріали Міжнарод. наук.- практ. конф. [«Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»], (Харків, 12-14 травня 2010 р.) / МОН України, НТУ «ХПІ» [та інші]. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – Ч.2. – С. 165.

Здобувачем зроблено висновок о доцільності широкої модернізації електроприводів насосних станцій переводом їх на частотно-регульований варіант.

8. Коротаев П.А. Энерго-, ресурсосберегающий эффект при модернизации электропривода насосного агрегата водопроводной станции второго подъема / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев // Матеріали III Міжнарод. наук.-практ. конф. [«Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві»], (Алушта, 13–17 червня 2011 р.) / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ України [та інші].–Харків: ХНАМГ, 2011. – С. 172.

Здобувачем показано, що економія електроенергії за рахунок виключення 25% втрат води в 3 рази перевищує зекономлену електроенергію по лічильнику на вході електропривода насосного агрегату.

9. Коротаев П.А. К разработке энергосберегающего частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата / П.А. Коротаев // Зб. наук. праць за матеріалами міжнарод. наук.-техн. конф. Молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук, 28-29 березня 2012р. / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України [та інші]. – Кременчук: КрНУ, 2012. – С. 233 – 234.

10. Коротаев П.А. Влияние распределенности параметров гидротранспортной магистрали на порывы при пусках электроприводов насосов / В.Б. Клепиков, П.А. Коротаев // Матеріали IV Міжнарод. наук.-практ. конф. [«Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві»], (Алушта, 11–15 червня 2012 р.) / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ України [та інші].– Харків: ХНАМГ, 2012. – С. 129-130.

Здобувачем побудовано залежність кидків тиску від параметрів водопровідної мережі та керування електроприводом при пуску та виконано аналіз результатів моделювання.

11. Коротаев П.А. Влияние параметров водопроводной сети на броски давления при пусках электроприводов насосных агрегатов / П.А. Коротаев // Зб. наук. праць за матеріалами Міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук, 28-29 берез. 2013р. / МОН України, КрНУ [та інші]. – Кременчук: КрНУ, 2013. – С. 61 – 62.

АНОТАЦІЇ

Коротаєв П.О. Энергоефективный электропривод насосного агрегата з покращеними пусковими характеристиками. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню енергоефективності електроприводів насосів за рахунок зниження втрат води та усунення поривів водопровідних мереж, що виникають при пусках насосних агрегатів. Побудовані математична та комп'ютерна моделі електропривода насосного агрегату як електромеханогідравлічної системи з розподіленими параметрами водопровідної магістралі. Встановлено, що основною причиною частих поривів водогінних мереж є хвильові процеси, які виникають при прямому пуску електропривода насосного агрегату. Визначено вплив параметрів водогінної мережі на підвищення тиску при пуску насосних агрегатів. Встановлені залежності кидків тиску від параметрів водопровідної мережі та керування електроприводом при пуску. Пуск частотно-регульованого електропривода за визначеними параметрами сприяє усуненню надмірного підвищення тиску у водогінних мережах.

Ключові слова: електропривод частотно-регульований, електромеханогідравлічна система, система керування, насосний агрегат, комп'ютерне моделювання, пориви водопровідних мереж.

Коротаев П.А. Энергоэффективный электропривод насосного агрегата с улучшенными пусковыми характеристиками. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена повышению энергоэффективности электроприводов насосов за счет снижения потерь воды и устранения порывов водопроводных сетей, что возникают при пусках насосных агрегатов.

Для Украины, обеспеченной собственными энергоресурсами лишь на 40%, решение проблемы их сбережения является крайне актуальной задачей. Автоматизированный ЭП, являясь средством оптимизации технологических процессов, позволяет существенно сократить как прямые, так и косвенные расходы электроэнергии. При этом имеет место, так называемый, синергетический эффект умножения экономии электроэнергии, что обеспечивается не только снижением потребления электроэнергии по счетчику, установленному на ЭП, но и за счет ис-

ключения энергетических затрат на производство, транспортирование экономичных расходных материалов, затрат на ремонт и восстановительные работы в результате оптимизации электроприводом технологического процесса. Модернизация нерегулируемого электропривода насосных станций путем замены на автоматизированный частотно-регулируемый может обеспечить как экономию электроэнергии, а, следовательно, и экономию первичных энергоресурсов, так и экономию воды. Использование частотно-регулируемого электропривода позволяет даже незначительным снижением скорости ЭП НА для обеспечения расчетного напора существенно снизить потребление электроэнергии, количество порывов водопроводной сети, а также создает предпосылки для полной автоматизации и оптимизации процесса водоснабжения.

Обоснован вид функциональной схемы асинхронного электропривода насосного агрегата с отрицательной обратной связью по давлению на выходе НА и с использованием преобразователя ПЧРТ-03. Приведены принципиальные схемы, характеристики и расчетные соотношения основных узлов и элементов силового канала, используемые при обосновании математической и компьютерной моделей исследуемой системы.

В связи с тем, что причиной многочисленных порывов водопроводной магистрали при пусках электроприводов насосных агрегатов является волновой характер процессов, рассмотрен не электропривод насосного агрегата, а всей электромеханогидравлической системы. При этом водопроводная магистраль представлена как линия с распределенными параметрами. Построены математическая и компьютерная модели системы, позволяющие произвести компьютерное моделирование как прямых пусков насосных агрегатов с нерегулируемым электроприводом, так и управляемых с регулируемым.

Выполнено моделирование процессов пуска электропривода насосного агрегата при вариациях параметров электромеханогидравлической системы с распределенными параметрами, анализ временных диаграмм компьютерного моделирования, и оценка их соответствия физическим процессам. Разработаны рекомендации по законам управления и синтезу системы автоматического регулирования электропривода, позволяющие устранить или значительно уменьшить число порывов водопроводных сетей при пусках насосных агрегатов.

Ключевые слова: электромеханогидравлическая система, электропривод частотно-управляемый, система управления, насосный агрегат, компьютерное моделирование, порывы водопроводных сетей.

Korotaiev P.O. The power effective pump unit electric drive with the improved starting characteristics. – As manuscript.

The dissertation for the degree of technical sciences candidate, speciality 05.09.03 – electrical complexes and systems. – NTU «KhPI». – Kharkiv, 2016.

Dissertation is sanctified to the increase of efficiency of electromechanics of pumps due to the decline of losses of water and removal of gusts of plumbings networks that arise up at starting of pumping aggregates. The mathematical and computer models of electromechanic of pumping aggregate as systems are built with the up-diffused parameters of water-main. Wave processes which arise at direct launch of the pump are

the main reason for rushes of water supply systems. Influence of parameters of plumbing network is certain on the increase of pressure at starting of pumping aggregates. The set dependences of throws of pressure are on the parameters of plumbing network and management an electromechanic at starting. The set dependences of throws of pressure are on the parameters of plumbing network and management an electromechanic at starting. Starting of the frequency-managed electromechanic assists the removal of excessive increase of pressure in plumbings networks.

Keywords: electromechanohydraulic system, the frequency operated electric drive, a control system, the pump unit, computer modeling, rushes of water supply systems.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Koy' with a long horizontal stroke extending to the right.

Відповідальний за випуск
к.т.н., професор Кутовий Ю.М.

Підписано до друку 19.07.2016 р. Формат 60×90/24
Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний
Друк – різнограф. Ум. друк. аркушів 1
Наклад 100 прим. Зам. № 123456

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354

www.modelist.in.ua

