

національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, директор; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Грецов Сергей Вениаминович – Львовский колледж транспортной инфраструктуры Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, директор; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Grevtsov Sergij Veniaminovich – Lviv College of Transport Infrastructure at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Head; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Болвановська Тетяна Валентинівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри «Станції та вузли»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Болвановская Татьяна Валентиновна – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры «Станции и узлы»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Bolvanovska Tetiana Valentynivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Associate Professor at the Department «Stations and Junction»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

УДК 621.311

М. М. МОШНОРИЗ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ДВОХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ

В науковій роботі шляхом комп'ютерного моделювання досліджено роботу насосного агрегату з мережею водоспоживання та двох насосних агрегатів на водопровідну мережу. Для цього розроблено модель відцентрового насоса, модель мережі, електропривода, одного насосного агрегата з водопровідною мережею та двох насосних агрегатів з мережею. В результаті дослідження дано рекомендації до побудови систем водопостачання з кількома насосами. Також у роботі досліджено питання енергоспоживання насосною станцією в різних режимах роботи. Розроблено алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами та перевірено його працездатність шляхом комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: насос, насосний агрегат, перетворювач частоти, зворотній зв'язок за швидкістю, лінійна модель двигуна, мережа водоспоживання, узгоджена робота насосів, енергоспоживання, алгоритм роботи системи керування.

В научной работе путем компьютерного моделирования исследована работа насосного агрегата с сетью водопотребления и двух насосных агрегатов на водопроводную сеть. Для этого разработана модель центробежного насоса, модель сети, электропривода, одного насосного агрегата с водопроводной сетью и двух насосных агрегатов с сетью. В результате исследования даны рекомендации к построению систем водоснабжения с несколькими насосами. Также в работе исследован вопрос энергопотребления насосной станцией в различных режимах работы. Разработан алгоритм работы системы управления двумя насосными агрегатами и проверено его работоспособность путем компьютерного моделирования.

Ключевые слова: насос, насосный агрегат, преобразователь частоты, обратная связь по скорости, линейная модель двигателя, сеть водопотребления, согласованная работа насосов, энергопотребление, алгоритм работы системы управления.

In the scientific work by computer modeling the work of the pump unit with a network of water consumption and two pump units on the water supply network was investigated. For this purpose a model of a centrifugal pump, a network model, an electric drive, one pump unit with a water supply network and two pump units with a network have been developed. As a result of the study, recommendations were given for building water supply systems with several pumps. Also, the issue of power consumption of the pump station in different operating modes is investigated. The algorithm of operation of the control system of two pump units was developed and its efficiency was checked by computer modeling.

Keywords: pump, pump unit, frequency converter, speed feedback, linear model of the engine, water consumption network, coordinated operation of pumps, power consumption, algorithm of control system operation.

Вступ. При роботі насоса на мережу водоспоживання виникають труднощі, які пов'язані з узгодженням роботи електропривода насоса і споживача. Ці труднощі пов'язані з наявністю протитиску в мережі. В будь який момент насос повинен генерувати тиск, який буде більший за протитиск в мережі. В інакшому випадку він буде вимикатися з роботи зворотнім клапаном. Ще складнішим стає завдання узгодження роботи насоса з мережею, коли паралельно з цим насосом працює інший. Задача стає складнішою через те, що тепер узгоджувати треба не лише тиск насоса та мережі, а і тиски паралельно працюючих насосів.

При роботі двох насосів на мережу можна керувати ними однаково. Для цього зручно використовувати частотний перетворювач, який живитиме одночасно обидва насоси. В такому разі перетворювач частоти повинен бути розрахований на подвійну потуж-

ність, що суттєво збільшує вартість електропривода. Існують рішення, коли регулюється швидкість одного насоса, а інший вмикається чи вимикається. Саме такі рішення є економічно вигідними. Ускладнює питання використання даних рішень лише спосіб керування електроприводами насосів.

Отже, питання узгодження керування паралельно працюючими електроприводами насосів є актуальним.

Робота виконувалася відповідно до одного з напрямів роботи кафедри Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету. Цей напрям стосується діагностування електротехнічного обладнання, а саме систем водопостачання та насосних станцій.

© М. М. Мошнорізі. 2017

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У сучасних вітчизняних і зарубіжних системах регулювання режимів роботи насосних установок здійснюється за допомогою автоматизованого регульованого електроприводу. У таких системах регульованим параметром є тиск рідини. Сучасний розвиток техніки дозволяє підтримувати заданий натиск з великою точністю. Однак висока точність тягне за собою безперервну зміну частоти обертання електродвигуна насосного агрегату і внаслідок цього сприяє виникненню знакозмінних навантажень на окремі елементи насосного агрегату (еластичні муфти, що з'єднують насос з двигуном та ін.), Що ведуть до передчасного їх зносу. Тому в ряді випадків доводиться встановлювати підвищену зону нечутливості системи регулювання, що знижує точність стабілізації напорів.

У роботах [1 - 10] розглядаються найбільш характерні проблеми управління насосними агрегатами системою водопостачання. Серед цих проблем слід назвати такі: регулювання продуктивності насосного агрегату та станції, узгодження роботи насосних агрегатів, економія енергоресурсів, підвищення надійності роботи станції, продовження терміну експлуатації трубопроводних мереж, діагностування несправностей системи водопостачання тощо.

У роботах [1, 2] розглядаються питання управління насосними агрегатами станції, при якому споживання електроенергії буде мінімальним.

У роботі [3] описується математична модель та виконується комп'ютерне моделювання системи водопостачання.

У роботах [4, 5] розглядається питання узгодженого управління насосними агрегатами станції, при якому забезпечуються потреби споживача у воді і зменшуються гідравлічні удари в трубопроводній мережі.

Роботи [6 - 10] описують способи покращення роботи насосної станції засобами електроприводу.

В цих роботах, як і у роботах інших авторів, повністю не висвітлено питання узгодженого управління двома регульованими насосними агрегатами станції водопостачання.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення надійності системи водопостачання за рахунок автоматизації роботи системи керування насосами станції водопостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз існуючих методів і засобів керування насосною станцією;
- розробити модель роботи станції на водопровідну мережу;
- розробити алгоритм роботи системи керування насосною станцією;
- перевірити працездатність алгоритму шляхом комп'ютерного моделювання.

Матеріали та методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія чисел та чисельних методів; теорія алгоритмів; теорія інтерполювання функцій; методи аналітичної геометрії для розробки методів контролю функцій лінійного інтерполювання; комп'ютерне моделювання для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень.

Виходячи з міркувань, висвітлених в [1 - 10], доцільно використовувати в якості приводного двигуна насосної установки асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, а живлення двигуна здійснювати від перетворювача частоти.

Побудуємо математичну модель системи водопостачання. Для цього розробимо моделі її елементів, а саме, електропривода, насосів та мережі водопостачання.

Аналітичний вираз статичної спадаючої напірно-витратної характеристики насоса має вигляд:

$$H = H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 - CQ^2, \quad (1)$$

де H - тиск води на виході насоса; H_0 - тиск води при нульовій продуктивності насоса; ω - кутова швидкість обертання насоса; $\omega_{ном}$ - номінальне значення швидкості обертання; C - коефіцієнт апроксимації напірно-витратної характеристики насоса; Q - продуктивність насоса.

Виразимо продуктивність насоса через швидкість та тиск:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{C} \left(H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 - H \right)}. \quad (2)$$

У останній залежності беремо лише додатню частину розв'язку, оскільки продуктивність насоса при його роботі буде додатною.

Представимо статичну напірно-витратну характеристику мережі:

$$H = H_{ст} + RQ^2, \quad (3)$$

де $H_{ст}$ - геодезична висота підйому води; R - коефіцієнт, який враховує втрати в трубопроводі.

Для відцентрового насоса потужністю 7,5 кВт і швидкістю обертання 3000 об/хв, а також для мережі з протитиском 10 м. на основі лінеаризованої моделі асинхронного двигуна [3], рівнянь (1) та (3) побудуємо комп'ютерну модель системи водопостачання. Розглянемо випадок, коли вона складається з одного частотокерованого насосного агрегату та мережі водопостачання. Комп'ютерна модель системи, зібрана в програмному середовищі Matlab Simulink, зображена на рис. 1.

Графіки перехідних процесів продуктивності і тиску під час регулювання швидкості обертання насоса зобразимо на рис. 2.

В результаті моделювання встановлено, що спільна робота електропривода та мережі водопостачання можлива при швидкостях двигуна, більших за 66% від номінальної. Якщо швидкість двигуна буде меншою за 0,66 від номінальної, то двигун не зможе забезпечити геодезичну висоту підйому. Остання сходинка продуктивності відбувається на швидкості 0,66 від номінальної. При зменшенні швидкості більше за 0,66 від номінальної у момент 8 с відбувається спрацювання зворотнього клапану насоса і двигун виводиться з роботи. Попередні сходинки реалізують зменшення швидкості кожної 2 с на 20 % від номінальної.

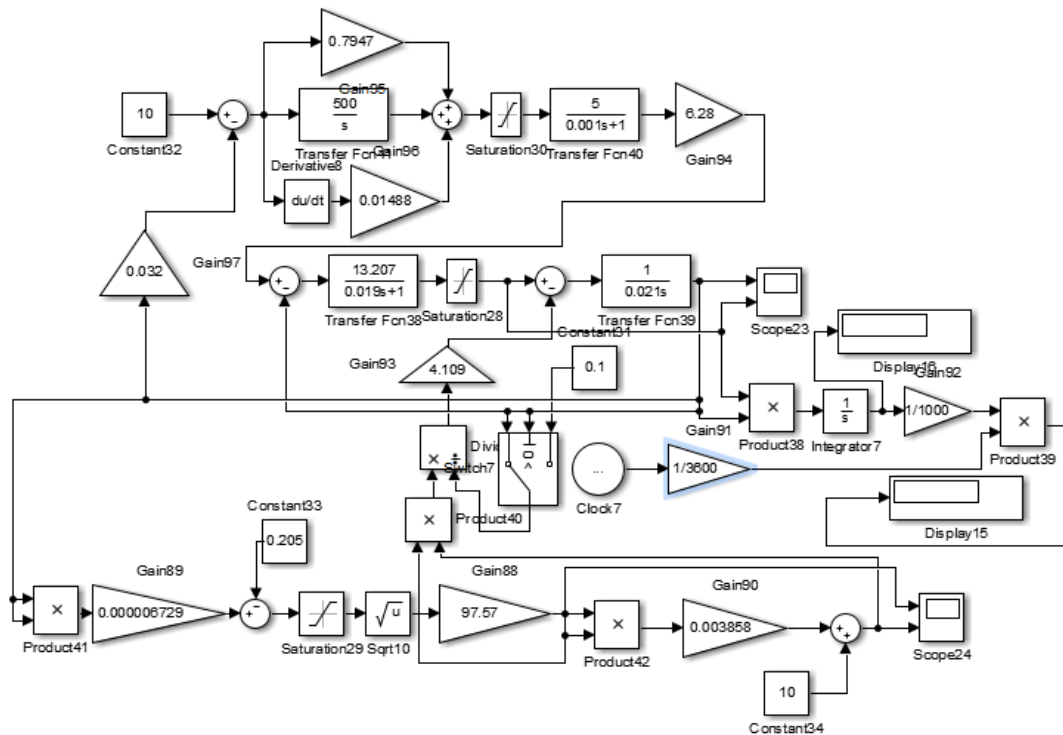


Рис. 1 - Комп'ютерна модель роботи електропривода насосного агрегату на мережу водопостачання

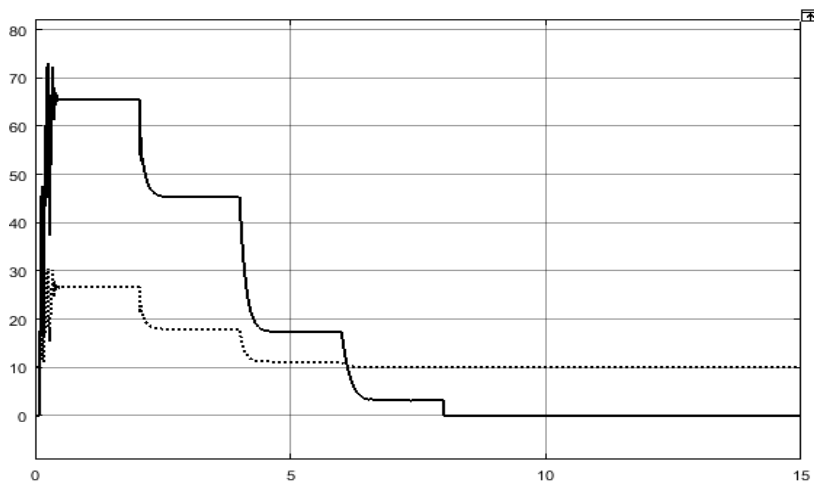


Рис. 2 - Графіки перехідних процесів продуктивності (суцільна лінія) та тиску (штрихова лінія) при ступеневому регулюванні швидкості обертання двигуна

Для моделювання спільної роботи двох насосних агрегатів необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\begin{cases} H = H_{ст} + RQ^2, \\ H = H_0 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{ном}} \right)^2 - CQ_1^2, \\ H = H_0 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{ном}} \right)^2 - CQ_2^2, \\ Q = Q_1 + Q_2. \end{cases} \quad (4)$$

У цій системі враховано рівняння (1) окремо для першого та другого насосів (номер насоса в індексі),

рівняння мережі (3) та рівняння спільної роботи насосів. Продуктивності кожного з насосів визначаються за виразом (2).

Таким чином, розроблено математичну модель системи водопостачання, яка складається з двох частотокерованих насосних агрегатів та мережі водопостачання. В програмному середовищі Matlab Simulink побудовано її комп'ютерну модель.

Автоматизована система водопостачання повинна забезпечувати або автоматизоване увімкнення всіх насосних агрегатів станції, або вимкнення насосів, робота яких необґрунтована, або чергування роботи насосів.

На рис. 3 побудуємо алгоритм роботи системи.

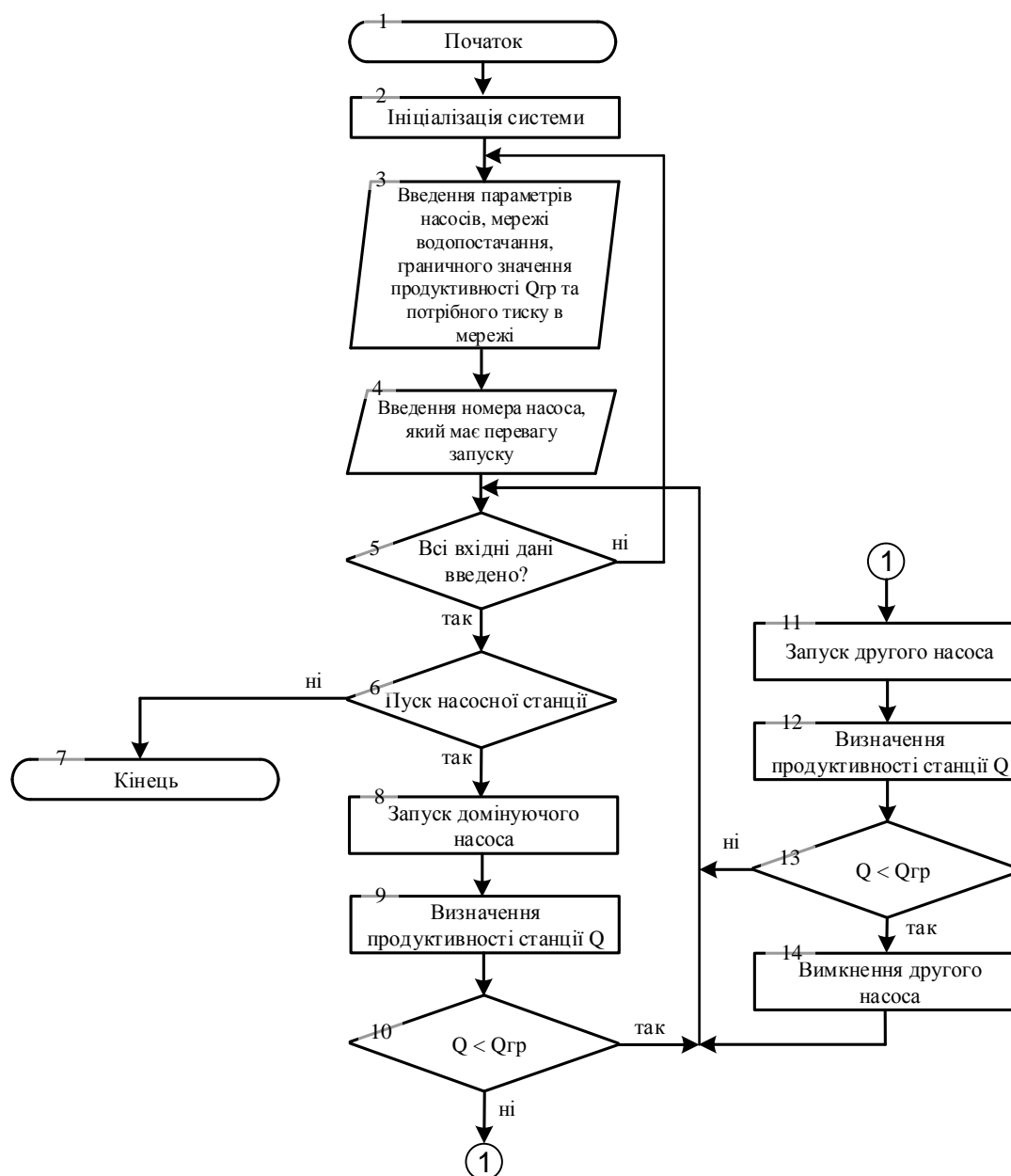


Рис. 3 - Алгоритм роботи системи керування двома частотнокерованими насосними агрегатами станції водопостачання

На алгоритмі роботи системи водопостачання позначено: елементи 1, 2 та 3 забезпечують перший запуск системи і її вимкнення; елементи 3 та 4 виконують запис інформації про параметри насосів, мережі водопостачання, граничного значення продуктивності, потрібного тиску та номера домінуючого насоса. Серед цієї інформації особливу увагу слід приділити номеру домінуючого насоса. Таким насосом має бути насос з меншим терміном безперервної роботи та більшим ресурсом. Визначення домінуючого насоса виконується персоналом станції, виходячи з досвіду експлуатації. Елементи 5 та 6 виконують перевірку чи введено всі необхідні дані і подана команда пуску насосної станції. У випадку, якщо введено не всі дані алгоритм повертає роботу системи до моменту введення інформації. Якщо не подано команду «Пуск», то алгоритм завершує роботу. Елементи 8 та 11 виконують запуск домінуючого та іншого насосів відпові-

дно. Елементи 9 та 13 забезпечують визначення продуктивності насосної станції. У блоках 10 та 13 виконується порівняння продуктивності насосної станції з граничним значенням продуктивності. Для випадку, коли працює два насоси з однаковими параметрами, граничним значенням продуктивності буде усталене значення продуктивності при роботі одного насоса на номінальних обертах приводного двигуна.

Перевіримо працездатність даного алгоритму шляхом комп'ютерного моделювання. Побудуємо комп'ютерну модель системи електропривода двох насосів зі зворотнім зв'язком по тиску води на виході станції. Для цього перерахуємо регулятор тиску.

Слід зауважити, що обидва електроприводи працюють від одного перетворювача частоти. Пуск чи зупинка кожного з насосів відбувається контактором.

Отримаємо графіки перехідних процесів, які зображено на рис. 4.

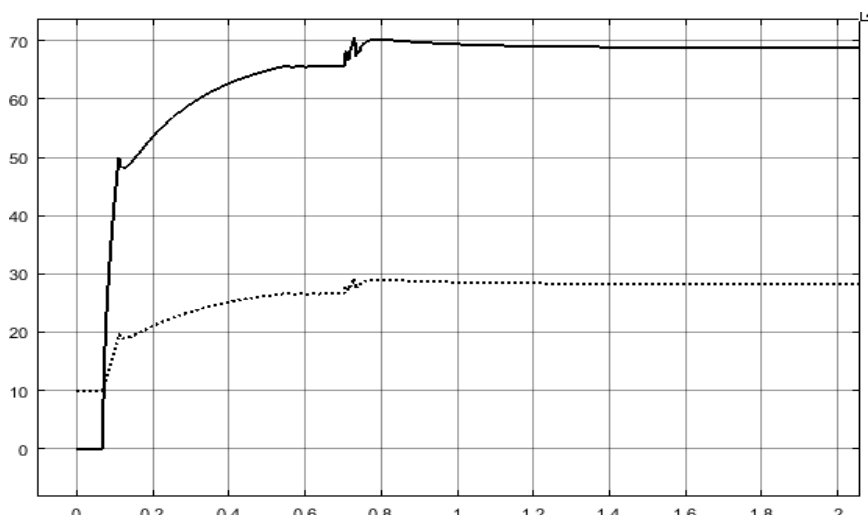


Рис. 4 - Результати роботи всієї системи, яка працює відповідно до розробленого алгоритму

На рисунку перехідний процес продуктивності показано суцільною лінією, а тиску - штриховою. З графіків видно, що у момент часу 0,7 с. в роботу включається другий насос і продуктивність станції зростає. При цьому виникає і певне перерегулювання тиску, який далі стабілізується. Отже система працює адекватно, відслідковуючи продуктивність системи водопостачання і забезпечуючи підтримання тиску на постійному рівні.

Перерегулювання продуктивності при пуску другого насоса становить 2,4 %, а перерегулювання тиску - 3,2 %. Отже система працює якісно і стійко.

Для порівняння слід зауважити, що графіки моделювання цієї системи при ручному керуванні мають імпульсну форму, коли другий насос зменшує свою швидкість обертання до граничного значення. Це пояснюється тим, що другий насос зі зменшенням швидкості зменшує тиск на своєму виході. І якщо цей тиск стає меншим ніж тиск працюючого насоса, то другий вимикається шляхом спрацювання зворотного клапану. Далі система керування намагається збільшити швидкість другого насоса. Це призводить до відкриття зворотного клапану і процедура повторюється.

Під час комп'ютерного моделювання всіх режимів роботи системи водопостачання виконувався розрахунок кількості корисної електроенергії, яка передавалася від двигуна до насоса. З порівняльної характеристики цих даних можна зробити такі висновки:

1. Врахування характеру навантаження впливає на перебіг перехідних процесів в двигуні. Для випадку, який розглядається у роботі, коли навантаження має вентиляторний характер і статичну складову, врахування цього призвело до зменшення споживання електроенергії на 6,6%.

2. Електропривода насосних агрегатів систем водопостачання обов'язково потрібно забезпечувати зворотним зв'язком по тиску. Для випадку, який розглядався у науковій роботі, це зумовлює зменшення споживання електроенергії на 58,2% порівняно з системами стабілізації швидкості обертання.

3. Регулювання продуктивності системи водопостачання шляхом зміни швидкості одного з насосів дозволяє зменшити споживання електроенергії на 25 %.

4. Використання частотнорегульованого електропривода в системах водопостачання дозволить досягти зменшення споживання електричної енергії до 60 %.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. При використанні лінеаризованої моделі асинхронного двигуна похибка отриманих результатів не перевищує 1% порівняно з моделлю у фазних координатах. Це науково обгрунтовує можливість використання лінеаризованої моделі асинхронного двигуна для моделювання сучасних електроприводів.

2. Шляхом комп'ютерного моделювання роботи одного насоса на водопровідну мережу встановлено, що граничне значення швидкості обертання дорівнює 0,66 в. од. від номінальної швидкості насоса. Для забезпечення більшого значення продуктивності потрібно вмикати другий насос.

3. Встановлено, що зі зменшенням швидкості насоса зменшується його вплив на продуктивність станції. Тобто регулювання швидкості обертання насоса слід виконувати в області його номінальних значень.

4. При роботі двох насосів на одну мережу виникають труднощі узгодження їхніх продуктивностей. Встановлено, що коли один з насосів працює на номінальній швидкості, то інший запускається з тривалими автоколиваннями тиску. Для уникнення цього в коло другого насоса необхідно вводити корегуючу ланку у вигляді аперіодичного фільтра.

Якщо один з насосів працює з постійними обертами, а швидкість іншого регулюється, що діапазон такого регулювання дуже вузький. Для випадку, який розглядається у статті діапазон регулювання продуктивності при роботі одного насоса становив 1/0,66, а при роботі двох - 1/0,92. Діапазон регулювання тиску при роботі одного насоса становив 1/0,4, а при роботі двох - 1/0,85.

5. Отримано, що при зменшенні швидкості насоса на 8% від номінальної, його продуктивність також зменшується на 8-10% від номінальної, а тиск - на 15% від номінального.

6. Розроблений алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами перевірено шляхом комп'ютерного моделювання на розглянутих моделях системи водопостачання. Перерегулювання продуктивності при пуску другого насоса становить 2,4%, а перерегулювання тиску - 3,2%. Отже, система працює якісно і стійко.

Список літератури:

1. Лезнов, Б. С. Экономика электроэнергетики в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Лезнов, Б. С. Энергосбережение в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов, В. Б. Чебанов, Я. Н. Гинзбург, Н. П. Воробьева, Ю. Б. Исхаков, Н. Б. Лезнов // Промышленная энергетика. – 1999. – № 7. – С. 13–16.
3. Ібайді Ібрахім, М. А. Автоматизована система водопостачання, яка складається з кількох насосних агрегатів [Текст] / М. А. Ібайді Ібрахім. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 113 с.
4. Мошнориз, М. М. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою керування групою паралельнопрацюючих насосів станцій водопостачання [Текст]: II Всеукр. наук.-техн. конф. / М. М. Мошнориз, М. М. Коцюрuba. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – С. 70–72.
5. Коренькова, Т. В. Рациональный электропривод насосных станций городского водоснабжения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Т. В. Коренькова. – К., 2001. – 155 с.
6. Мошнориз, Н. Н. Усовершенствование системы управления водоснабжением отдельного населенного пункта на основании применения нечеткого регулятора [Текст] / Н. Н. Мошнориз, О. Н. Довганич. – Томск: ООО "СКАН", 2014. – С. 89–93.
7. Гриценко, К. Г. Способ решения задачи реконструкции электроприводов насосов насосной станции с использованием имитационной модели [Текст] / К. Г. Гриценко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 2 (9). – С. 10–16.
8. Сотник, М. І. Аналіз способів регулювання роботи насосних станцій комунального водопостачання [Текст] / М. І. Сотник,

С. О. Хованський, О. І. Дужак // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2008. – № 2. – С. 152–157.

9. Коренькова, Т. В. Описание характеристик насосных агрегатов при переменной скорости вращения [Текст] / Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – Вип. 1 (12). – С. 184–189.
10. Сердюк, А. Особенности моделей водопроводных насосных комплексов [Текст] / А. Сердюк, Т. Коренькова // Вісник КДПУ. – 2007. – Вип. 4 (44). – С. 143–147.

Bibliography (transliterated):

1. Leznov, B. S. (1991). *Ehkonomiya ehlektroenergii v nasosnyh ustanovkakh*. Moscow: Ehnergoatomizdat, 144.
2. Leznov, B. S., Chebanov, V. B., Ginzburg, Ya. N., Vorob'eva, N. P., Iskhakov, Yu. B., Leznov, N. B. (1999). *Ehnergoberezhenie v nasosnyh ustanovkakh*. *Promyshlennaya energetika*, 7, 13–16.
3. Ibaidi Ibrakhim, M. A. (2017). *Avtomatyzovana sistema vodopostachannia, yaka skladaetsia z kilkokh nasosnykh ahrehativ*. Vinnytsia: VNTU, 113.
4. Moshnoriz, M. M., Kotsiuruba, M. M. (2016). *Alhorytm roboty mikroprotosernoho prystroiu keruvannia hrupoiu paralelnopratsuiuchykh nasosiv stantsii vodopostachannia*. Pokrovsk: DVNZ «DonNTU», 70–72.
5. Koren'kova, T. V. (2001). *Racional'nyi ehlektroprivod nasosnykh stantsiy gorodskogo vodosnabzheniia*. Kyiv, 155.
6. Moshnoriz, N. N., Dovganich, O. N. (2014). *Usovershenstvovanie sistemy upravleniia vodosnabzheniem otdel'nogo naselyonnoho punkta na osnovanii primeniia nechetkogo reguliatora*. Tomsk: OOO "SKAN", 89–93.
7. Grichenko, K. G. (2000). *Sposob resheniia zadachi rekonstrukcii ehlektroprivodov nasosov nasosnoy stantsii s ispol'zovaniem imitacionnoy modeli*. *Visnyk Kremenchut'skoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*, 2 (9), 10–16.
8. Sotnyk, M. I., Khovanskyi, S. O., Duzhak, O. I. (2008). *Analiz sposobiv rehuliuвання roboty nasosnykh stantsii komunalnoho vodopostachannia*. *Visnyk SumDU. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2, 152–157.
9. Koren'kova, T. V. (2001). *Opisaniie harakteristik nasosnykh agregatov pri peremennoy skorosti vrashcheniia*. *Visnyk Kremenchut'skoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*, 1 (12), 184–189.
10. Serdyuk, A., Koren'kova, T. (2007). *Osobennosti modeley vodoprovodnykh nasosnykh kompleksov*. *Visnyk KDFPU*, 4 (44), 143–147.

Надійшла (received) 26.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів / Мошнориз М. М. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.80–85. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Автоматизированная система водоснабжения, которая состоит из двух насосных агрегатов / Мошнориз Н. Н. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.80–85. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Automated water supply system consisting of two pump units / Moshnoriz M. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.80–85. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мошнориз Микола Миколайович - кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри "Електромеханічні системи автоматизації в промисловості і на транспорті"; Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, інд. 21021; e-mail: moshnoriz@gmail.com.

Мошнориз Николай Николаевич - кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры "Электромеханические системы автоматизации в промышленности и на транспорте"; Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, инд. 21021; e-mail: moshnoriz@gmail.com.

Moshnoriz Mykola - candidate of technical sciences, associate professor, Vinnytsia National Technical University, associate professor of the department "Electromechanical systems of automation in industry and transport"; Khmelnytsky highway, 95, Vinnytsya, Ind. 21021; E-mail: moshnoriz@gmail.com.