

УДК 005.53;005.591.6;657.922;620.9;644

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ ЕНЕРГОАУДИТУ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

МОШНОРИЗ М. М. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua;  
ГОРБАНЬ А. С. студент Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна, e-mail: andriy96gorban@gmail.com;

**Мета роботи.** підвищити ефективність роботи системи водопостачання за рахунок автоматизації енергетичного аудиту, що дозволить сформулювати попередні рекомендації для зменшення електроспоживання у системі водопостачання будь-якого типу.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи систематизації, аналізу та синтезу основних практичних рішень для покращення ефективності роботи системи водопостачання; методи алгоритмізації, прогнозування та математичного моделювання.

**Отримані результати.** Розроблено підхід до попереднього енергоаудиту будь-якої системи водопостачання. Запропоновано перелік загальних рішень для підвищення ефективності роботи системи водопостачання засобами електричного приводу.

**Наукова новизна.** Запропоновано метод проведення енергетичного аудиту системи водопостачання, який, на відміну від відомих, дозволяє опосередковано визначити основні недоліки системи водопостачання, що дозволить вжити заходів для підвищення ефективності роботи системи.

**Практична цінність.** Розроблено алгоритм попереднього енергетичного аудиту системи водопостачання. Розроблено рекомендації для підвищення ефективності роботи системи водопостачання, які враховують досвід минулих років і результати комп'ютерного моделювання.

**Ключові слова:** автоматизація, система водопостачання; енергоаудит; ефективність роботи; насосна станція; насосний агрегат; регулювання продуктивності; електропривод.

### І. ВСТУП

Питання енергоефективності поставлено в числі найважливіших у держаній програмі роботи промисловості та народного господарства України [1]. Крім того, питання стає більш актуальним у ситуації постійного зростання вартості енергоресурсів.

Для запровадження енергоефективних технологій необхідно володіти цими технологіями (енергетичний менеджмент) та знати реальний стан існуючих систем, ефективність роботи яких планується покращити (енергетичний аудит) [2]–[4]. У даній роботі пропонується розробити підхід до попереднього енергоаудиту будь-якої системи водопостачання, який можна проводити в автоматизованому режимі.

### ІІ. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Будь яка насосна станція складається з системи насосних агрегатів, системи запірної арматури та системи трубопроводів. Режим роботи станції визначає або система насосних агрегатів, або система запірної арматури [5]–[7]. На даний час існує тенденція до відмови від впливу на режим роботи станції запірної арматури [8]–[13]. Це пов'язано з невиправданими затратами електроенергії при дреселюванні трубопроводу, з невиправданими гідравлічними ударами в трубопровідній мережі під час спрацювання запірної арматури, з більшим зносом ущільнюючих пристроїв

насоса, електродвигуна та арматури при роботі на закриту засувку тощо. Таким чином, режим роботи станції намагаються задавати шляхом управління її насосними агрегатами.

Існує багато підходів до регулювання продуктивності станції. Підходи до регулювання продуктивності станції, що складається лише з одного насосного агрегату, достатньо добре вивчені та випробувані [5]–[6]. А підходи до управління кількома насосами, що працюють одночасно, вивчені не повністю. Тут виникають наступні труднощі [14]:

1) в кожному конкретному випадку, у кожний конкретний момент часу потрібно вирішити, якою повинна бути кількість працюючих насосів;

2) не зрозуміло, який спосіб регулювання буде доцільно використати для регулювання продуктивності насосного агрегату;

3) не зрозуміло, який спосіб регулювання буде доцільно використати для регулювання продуктивності станції;

4) узгодження роботи насосів та споживача.

Перше питання розглядається у роботах [14], [15] та інших. Вирішення цього питання зводиться до відмови від групового характеру роботи насосів та перехід до роботи одного – двох насосів великої потужності. В такому випадку вдається позбутися про-

блем узгодження роботи насосів, а також зникає необхідність установки певної кількості резервних насосних агрегатів. Проте, недоліком даного підходу є велика потужність регулюючого пристрою, а також його низька ефективність при глибокому діапазоні регулювання швидкості, а відповідно і продуктивності. Таким чином, можна сформулювати рекомендації до вибору кількості насосів на насосній станції:

1) для станції невеликої потужності (до 100 кВт) доцільно встановлювати один робочий агрегат і один резервний, які можна чергувати для рівномірного вичерпання моторесурсу;

2) для станції великої потужності доцільно встановлювати до 6 робочих насосних агрегатів і 2 резервних;

3) на станціях, продуктивність яких не регулюється доцільно встановлювати один робочий і один резервний насосні агрегати.

Друге питання розглядається у роботах [5]-[7] та інших. За результатом аналізу цих робіт можна зробити висновок, що найпростішим способом регулювання продуктивності насосного агрегату є прикриття засувки на його нагнітаючому патрубку, а найефективнішим – зміна частоти обертання робочого колеса насоса. В деяких джерелах наводиться інформація про економію до 50% електроенергії за рахунок частотного регулювання продуктивності насосного агрегату [5]-[7], [16].

Третє питання розглядається у роботах [5]-[7], [14], [17]-[20] та інших. За результатом аналізу цих робіт можна зробити висновки, що найкращі регульовальні якості має насосна станція, яка складається з одного насосного агрегату, який живиться від перетворювача частоти. Якщо ж насосних агрегатів кілька і вони всі однакові за технічними характеристиками, то найкращі результати регулювання отримуються при роботі всіх агрегатів від одного перетворювача частоти. Труднощі виникають, коли насосні агрегати відрізняються за технічними характеристиками і встановлення одного перетворювача частоти на всі насоси виявляється недоцільним. В такому разі переходять до вирішення четвертого питання.

Четверте питання вирішується у роботах [14], [21]-[25] та інших. Пропонується встановлювати регулюючий пристрій (перетворювач частоти) лише на один насосний агрегат, а всі інші працюватимуть в режимі «ввімкнено – вимкнено». Швидкістю обертання регульованого агрегату можна забезпечити достатню плавність регулювання продуктивності станції, а вмикаючи та вимикаючи нерегульовані агрегати – достатній діапазон регулювання. Для того, щоб регульований агрегат працював ефективно, ним потрібно регулювати за певним законом, який буде враховувати параметри паралельно працюючих насосів та параметри мережі водопостачання. Названий закон регулювання для насосної станції, яка складається з п'яти різних агрегатів, встановлено отримано у роботі

[14]. Не сповна вивченим залишається питання міри впливу на споживання електроенергії тих чи інших заходів стосовно вдосконалення роботи системи водопостачання.

### III. МЕТА РОБОТИ

За мету роботи прийнято підвищення ефективності роботи системи водопостачання за рахунок проведення енергетичного аудиту, що дозволить сформулювати попередні рекомендації для зменшення електроспоживання у системі водопостачання будь-якого типу.

### IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

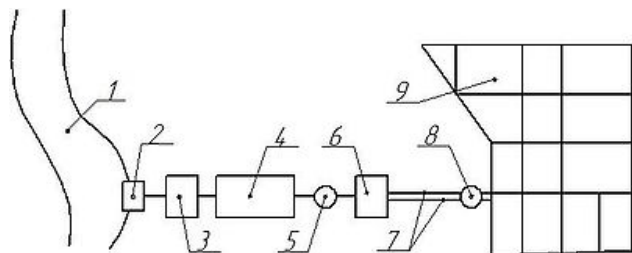
Основним споживачем електричної енергії у системі водопостачання є насосна станція, тому питання підвищення ефективності енергоспоживання системи водопостачання зводиться до ефективності роботи насосної станції. Але ефективність роботи станції, в свою чергу, залежить від ефективності роботи всієї системи водопостачання. Розглянемо характерні проблеми у системі водопостачання, які призводять до зменшення ефективності її роботи.

Закупорки трубопроводів призводять до падіння тиску біля споживача, підвищення тиску у ділянці трубопроводу перед закупоркою. Щоб підвищити тиск води біля споживача потужність насосної станції збільшують. Це призводить до ще більшого зростання тиску в трубі перед закупоркою. Робота насосної станції стає неефективною, оскільки вона стає споживати більше енергії, ніж до моменту закупорки. Крім того, надлишковий тиск у трубі призводить до завчасного виникнення тріщин у стінках трубопроводу, пошкодження ущільнень у місцях з'єднання елементів мережі, підсилення коливань тиску в трубі, які призводять до виникнення гідравлічних ударів, тощо.

Прорив трубопроводу так само призводить до падіння тиску біля споживача. Аналогічно, щоб підвищити тиск води біля споживача, потужність насосної станції збільшують. Ефективність роботи насосної станції зменшується, оскільки не вся вода, яку вона перекачує, доставляється споживачеві. По-перше, витік води призводить до втрати водяного ресурсу, що зараз стає все більш актуальною проблемою. Питання нестачі прісної води на планеті виходить у число перших проблем людства. Особливо актуально ця проблема постає у Подільському регіоні, де, практично, всі великі міста, отримують воду з поверхневих джерел. Число та наповненість річок і озер водою з кожним роком зменшується. По-друге, витік води призводить до підтоплення ділянки населеного пункту, де виник прорив труби. Для ремонту місця підтоплення припиняється потік води (частина жителів залишається без водопостачання), розкопується ділянка укладання трубопроводу, чим створюються незручності для руху транспорту та пішоходів, руйнується благоустрій тощо. Крім того, витік води з системи водо-

постачання населеного пункту призводить до посилення роботи його каналізаційної системи. Чим ефективність роботи системи водопостачання додатково погіршується і невиправданими затратами електроенергії на роботу каналізаційної системи.

Відомо, що система водопостачання може складатися з таких основних елементів (рис. 1): джерело водозабору 1, водоприймальна споруда 2, насосна станція першого підйому 3, очисні споруди 4, резервуар чистої води 5, насосна станція другого підйому 6, водоводи 7, водонапірна вежа 8 та мережа водопостачання 9 [6].



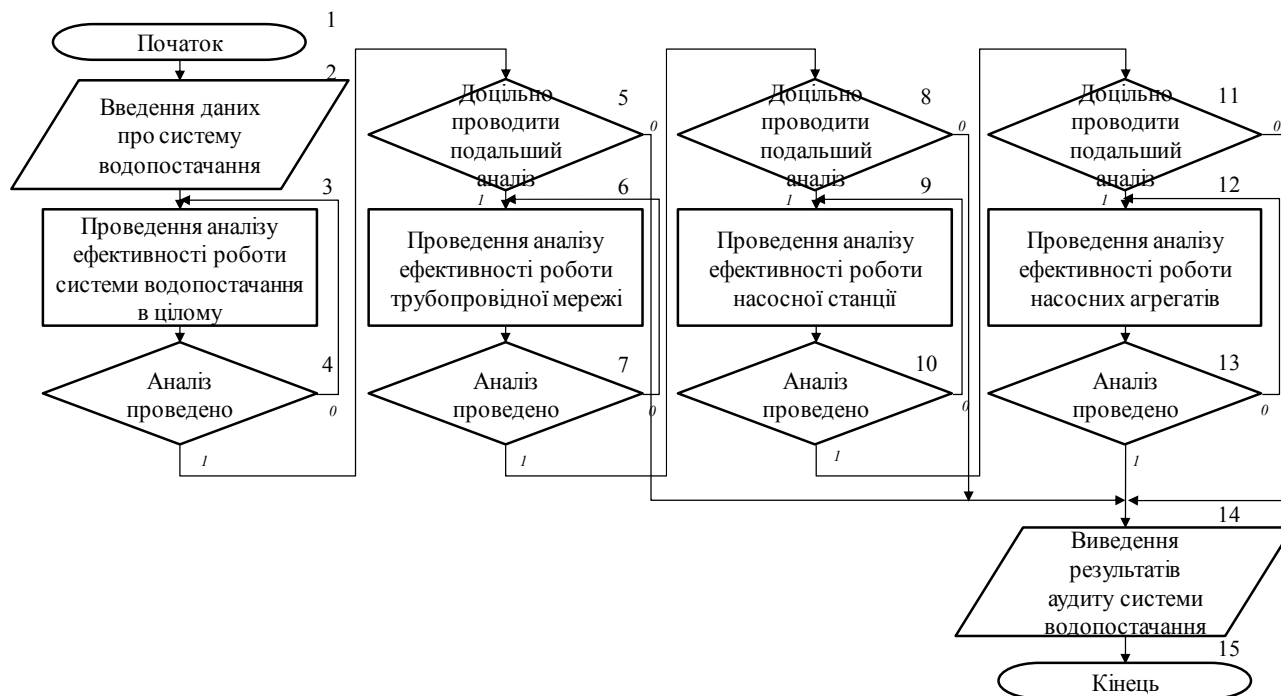
**Рисунок 1.** Принципова схема системи водопостачання

На основі зображеної схеми системи водопостачання можна отримати будь яку систему водопоста-

чання. Наприклад, у системі теплопостачання замість водонапірної вежі 8 буде розширювальний бак, а мережа водопостачання буде працювати у циркуляційному режимі. Тобто, вихід мережі буде з'єднаним зі входом насосної станції. На основі такої схеми можна представити і систему каналізації. Тільки у системі каналізації рідина буде збиратися у споживачів 9, самопливом стікати до резервуару 5 і насосною станцією 3 буде перекачуватися на фільтраційні поля 4. Таким чином, практично будь-яку систему водопостачання можна побудувати з елементів, які перелічені на рис. 1. Відрізнятимуться між собою системи водопостачання лише послідовністю слідування таких елементів, місцем їх розташування та наявністю чи відсутністю деяких комунікаційних з'єднань.

Енергетичний аудит конкретної системи водопостачання полягає у знаходженні способів підвищення енергоефективності роботи її елементів. У даній статті сформуємо основні способи підвищення ефективності роботи системи водопостачання.

Оскільки вся система водопостачання може бути дуже великою і складатися з багатьох елементів сформуємо алгоритм її попереднього енергоаудиту (рис. 2).



**Рисунок 2.** Алгоритм попереднього енергоаудиту системи водопостачання

Представлений алгоритм дозволяє провести попередній аналіз існуючої системи водопостачання в автоматизованому режимі і знайти ті місця цієї системи, які потребують негайного втручання. Попередній енергоаудит будь якої системи водопостачання

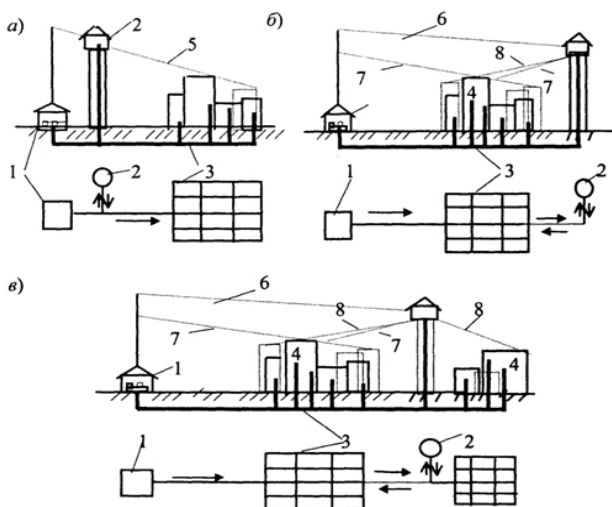
пропонується розділити на чотири етапи за їх важливістю і рівнем впливу на ефективність роботи системи в цілому. Назвемо ці етапи:

1. Проведення аналізу ефективності роботи системи водопостачання в цілому (блок 3 на рис. 2). На

цьому етапі необхідно звернути увагу на такі особливості:

- встановлення водонапірних веж;
- визначення оптимального місця розташування насосних станцій та водонапірних веж;
- використання підвищувальних насосних станцій;
- корегування місця розташування диктуючих точок.

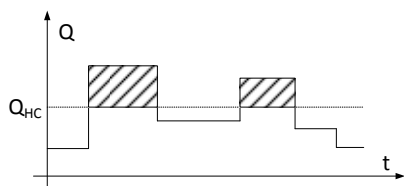
Водонапірні вежі дозволяються вирівняти коливання тиску в трубопроводній системі і зменшити діапазон регулювання насосної станції. Можливі три варіанти розміщення водонапірної вежі відносно насосної станції та споживача або мережі водопостачання (рис. 3) [5], [6].



**Рисунок 3.** Можливі способи розташування водонапірної вежі

На рис. 3 позначено: 1 – насосна станція 2 – водонапірна вежа, 3 – мережа водопостачання (споживач), 4 – місця мережі водопостачання, які мають найвище місце розташування (висотні будинки, вершини пагорбів тощо), 5-8 – п'езометричні лінії, які демонструють значення тиску у метрах водяного стовпа по мірі віддалення від насосної станції чи водонапірної вежі.

Встановлення водонапірної вежі дозволяє розвантажити роботу насосної станції у моменти пікових навантажень. Наглядно це демонструє графік споживання води населеним пунктом на протязі доби (рис. 4).



**Рисунок 4.** Добовий графік водопостачання

На графіку водопостачання представлено кількість спожитої води за годину роботи протягом доби. Для зручності розрахунку даний графік подається під виглядом сходиної лінії. Величиною  $Q_{НС}$  позначено продуктивність насосної станції. Все те, що вище за продуктивність насосної станції (заштрихована область) може забезпечити водонапірна вежа. У випадку, якщо пікові навантаження трапляються частіше, ніж два рази на добу, то водонапірна вежа суттєво покращує ефективність роботи насосної станції.

Визначення оптимального місця розташування насосної станції, водонапірної вежі чи диктуючих точок дозволяє зменшити невиправдані затрати тиску води в трубопроводі і підвищити ефективність роботи системи водопостачання. Всі об'єкти системи водопостачання мають з'єднуватися між собою найкоротшим шляхом, протяжність трубопроводу має бути найменш можливою, кожен споживач повинен мати допустимий тиск води в трубопроводі. Для вирішення таких оптимізаційних задач використовуються різні методи, за результатами використання яких можна зменшити протяжність трубопроводу і, тим самим, зменшити втрати тиску в трубі.

Для зменшення діапазону регулювання продуктивності (тиску) насосної станції другого підйому та вирівнювання її діаграми навантажень можуть використовуватися підвищувальні насосні станції (насосні станції третього підйому). Вони дозволяють забезпечити найвіддаленіших або найвищих споживачів необхідною кількістю води при невисокому тиску води біля цих споживачів. При розбудові населених пунктів периферійної частини міст часто отримують водопостачання з низькими і недостатніми значеннями тиску. Щоб це виправити можна збільшити продуктивність та тиск насосної станції. Це призведе до зростання тиску у всій трубопроводній мережі і, особливо, у споживачів, які знаходяться поблизу насосної станції. Внаслідок цього зростають втрати в трубопроводі, збільшується ймовірність виникнення його несправності та виходу з ладу окремих споживачів. Цього можна позбутися, якщо біля віддалених від насосної станції місць встановити підвищувальні насосні станції, які будуть забезпечувати підвищення тиску до потрібних значень. Місце розташування таких станцій треба також обирати, виходячи з оптимізаційних розрахунків протяжності трубопроводу та забезпечення найбільшої кількості споживачів.

2. Аудит трубопроводної мережі (блок 6 на рис. 2). На цьому етапі необхідно звернути увагу на такі заходи:

- ревізія трубопроводів на предмет усунення тріщин, свищів тощо;
- зменшення протяжності трубопроводу за рахунок модернізації трубопроводної мережі, збільшення діаметру труби, встановлення станцій третього підйому;
- зменшення кількості перегинів трубопроводу

за рахунок модернізації трубопровідної мережі;

г) збільшення пропускної спроможності труби за рахунок використання сучасних труб, збільшення їх діаметру.

Розглянемо ділянку трубопроводу довжини  $L$  та радіусом  $R$  (рис. 5).

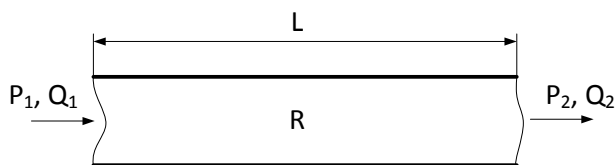


Рисунок 5. Частина водопровідної труби

Припустимо, що на вході в трубу вода має тиск  $P_1$  та продуктивність  $Q_1$ , а на виході -- тиск  $P_2$  та  $Q_2$  відповідно. Виявити пошкодження трубопроводу можна шляхом порівняння параметрів тиску та продуктивності до та після ділянки труби. Математична модель виявлення несправності матиме вигляд:

$$\begin{cases} P_1 \neq P_2 + \Delta P_L, \\ Q_1 \neq Q_2, \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{де } \Delta P_L = f(L, R).$$

Величина  $\Delta P_L$  це функція втрат тиску в трубопроводі, яке залежить від його протяжності, діаметру (радіусу), матеріалу, шорсткості поверхні тощо. У випадку, якщо тиск з врахуванням втрат, або продуктивність до та після ділянки труби відрізняються, можна робити висновок про несправність.

3. Енергоаудит роботи насосної станції (блок 9 на рис. 2). На даному етапі необхідно розглянути такі питання:

а) узгодження продуктивності станції та потреб споживача;

б) використання енергоефективних способів регулювання продуктивності станції;

в) використання ефективних принципів керування.

Якщо продуктивність станції буде більшою ніж потреби споживача, то це призведе до збільшення тиску води в трубопровідній мережі. Таким чином ефективність насосної станції зменшиться. Якщо продуктивність насосної станції навпаки буде меншою ніж потреби споживача, то частина споживачів залишаться без води. Тому продуктивність (тиск) насосної станції повинна обов'язково регулюватися для того, щоб в кожний момент подавати в мережу стільки води, скільки її потребує споживач.

Найбільш ефективним способом регулювання продуктивності (тиску) насосної станції є зміна числа одночасно працюючих насосних агрегатів та частотний спосіб регулювання кожного з них [24]. Використання таких найпростіших способів регулювання продуктивності станції як дреселювання є економічно

неефективним.

Щоб визначати як саме слід керувати насосною станцією існують різні принципи керування. Так, наприклад, насосна станція може працювати за графіком водопостачання (керування за продуктивністю) або зі стабілізацією тиску (керування за тиском). Кожен із цих принципів має свої переваги та недоліки. Керування за продуктивністю відносно просте у реалізації, але не враховує випадковий характер споживання. Тому часто виникають моменти невідповідності продуктивності насосної станції потребам споживача. Робота насосної станції зі стабілізацією тиску передбачає випадковий характер споживання, але на відміну від першого принципу не враховує явище «транспортного запізнення» у трубопроводі. Внаслідок цього, стабілізація тиску у якійсь одній точці трубопровідної мережі не гарантує стабілізації тиску в іншій точці.

4. Енергоаудит роботи насосних агрегатів (блок 12 на рис. 2). На цьому етапі рекомендується вирішити такі питання:

а) визначення кількості працюючих насосів;

б) вибір способу регулювання продуктивності насосних агрегатів;

в) узгодження роботи насосів між собою;

г) використання сучасних принципів керування насосними агрегатами.

У кожен годину роботи насосної станції необхідно вмикати певну кількість насосів. Число насосів може змінювати постійно протягом доби. Краще, щоб кількість запусків насосних агрегатів була мінімальною. Це пов'язано з тим, що електричні двигуни середньої та великої потужності мають обмеження на кількість прямих пусків. Крім того, необхідно забезпечити рівномірне вичерпання моторесурсу насосних агрегатів. Тому потрібно запускати агрегати з найменшим моторесурсом.

Відомо, що найкращі показники ефективності має частотний спосіб регулювання швидкості електричного двигуна змінного струму. Тому регулювання продуктивності насосного агрегату шляхом зміни частоти напруги живлення, є найкращим з точки зору енергетичних затрат. Під час частотного пуску насосів досягається до 60% економії електроенергії, відсутні пускові струми, зменшується вплив гармонік струму та напруги на мережу живлення. Крім того, частотний спосіб регулювання дозволяє забезпечити роботу електропривода в області найвищих ККД при різних швидкостях обертання [5], [14], [17].

Під час роботи насосних агрегатів в групі, тобто коли насоси включені паралельно один одному і працюють на один трубопровід, їхню роботу потрібно узгоджувати. Мається на увазі, що регулювання одного з включених насосів призводить до зміни режиму роботи інших. У випадку, коли швидкість працюючого насосу зменшується, його продуктивність і тиск

падають. Рано чи пізно тиск насосу стає меншим за тиск в трубопроводі, внаслідок чого, він відключиться зворотнім клапаном. Продуктивність насосної станції стрибкоподібно зменшиться, внаслідок чого зменшуються втрати в трубопроводній мережі. Оскільки втрати в трубопроводі зменшилися, то падіння продуктивності станції буде дещо меншим, ніж продуктивність насосу, який відключився. Таким чином, оскільки всі насоси працюють на одного споживача (мережу водопостачання), то зміна режиму роботи одного з них впливає на роботу всіх інших.

У момент вимкнення працюючого насосу, коли спрацьовує зворотний клапан, виникають такі негативні явища як гідравлічний удар, робота цього насоса з нульовою продуктивністю, робота насоса на закриту засувку тощо. Тому керувати насосними агрегатами треба таким чином, щоб вимкнення кожного з них відбувалися без гідравлічних ударів і невинуватих затрат електроенергії на роботу з нульовою продуктивністю.

Врахувати названі особливості дозволяють сучасні системи керування електроприводами насосів. Перелічимо деякі з цих особливостей:

- рівномірне вичерпання моторесурсу насосних агрегатів;
- рівномірне вичерпання ресурсу на кількість прямих запусків насосних агрегатів;
- узгодження роботи насосів, що працюють в групі (паралельно);
- частотний спосіб регулювання продуктивності насосних агрегатів;
- зміна кількості працюючих насосів і т.д.

Все це дозволить підвищити ефективність роботи насосної станції водопостачання.

## V. ВИСНОВКИ

Отже, для підвищення ефективності роботи будь-якої системи водопостачання необхідно забезпечити цілісність її трубопроводної мережі, зменшити кількість перегинів в мережі, збільшити її діаметр, зменшити довжину та підвищити ефективність роботи насосної станції. Ефективність роботи станції можна покращити шляхом запровадження електричного регулювання її продуктивності, переходу до індивідуального електропривода насосних агрегатів та запровадження ефективних алгоритмів роботи системи керування станції.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Закон України «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні» із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 16 жовтня 2012 року № 5460-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/T113715.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T113715.html).
- [2] Закон України «Про енергозбереження» із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 17 лютого 2011 року № 3038-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://naer.gov.ua/normativno-pravova-baza>.
- Енергетична стратегія України до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc>.
- [3] Скібіна Т. І. Енергоаудит як основа підвищення енергоефективності та енергозбереження в системах централізованого теплопостачання // Економіка і регіон. – Полт.НТУ, 2014. – №4 (47). – С. 23 – 27.
- [4] Зеркалов Д. В. Енергозбереження в Україні: монографія [Текст] / Д.В. Зеркалов. – К.: Основа, 2012. – 147 с.
- [5] Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 359 с.
- [6] Залуцкий Э. В. Насосные станции. Курсовое проектирование / Э. В. Залуцкий, Д. И. Петрухно. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 167 с.
- [7] Коренькова Т. В. Рациональный электропривод насосных станций городского водоснабжения: дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Коренькова Татьяна Валериевна. – К., 2001. – 155 с.
- [8] Мюцель Ф. Эксплуатационная надежность и экономичность насосных станций / Ф. Мюцель // Водоснабжение и санитарная техника, 2006. – №1. – С. 43.
- [9] Березин С. Е. Оптимизация формы и размеров малых насосных станций с насосами погружной установки / С. Е. Березин // Водоснабжение и санитарная техника, 2008. – №5. – С. 33-40.
- [10] Чебанов В. Б. Техничко-економические аспекты применения регулируемого электропривода в насосных установках / В. Б. Чебанов // Водоснабжение и санитарная техника, 2012. – №1. – С. 65-50.
- [11] Твердохлеб И.Б., Костюк А. В. Энергоэффективная эксплуатация насосного оборудования / И. Б. Твердохлеб, А. В. Костюк // Водоснабжение и канализация, 2010. – №1. – С. 124-127.
- [12] Шадрин В. А. Повышение эффективности использования электроэнергии / В. А. Шадрин // Водоснабжение и санитарная техника, 2012. – №8. – С. 13-15.
- [13] Энергосбережение в насосных установках / 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.
- [14] Мошноріз М. М. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання. Монографія [Текст] / В. В. Грабко, М. М.

- Мошноріз. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 138 с.
- [15] Горячев Г. В. Оптимізація режимів роботи насосної станції водопостачання / Г. В. Горячев, М. М. Мошноріз // Тези доповідей 4-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених і спеціалістів. Кременчук, 2006 – С. 35.
- [16] Москаленко В. В. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник [Текст] / В. В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 208 с. ISBN 5-16-001676-7.
- [17] Сотник М. І. Аналіз способів регулювання роботи насосних станцій комунального водопостачання / М. І. Сотник, С. О. Хованський, О. І. Дужак // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки, 2008. – №2. – С. 152 – 157.
- [18] Каргин С. А. Анализ потерь электроэнергии при работе группы насосов, оснащенных регулируемым приводом // Водоснабжение и санитарная техника, 2010. – №3. – С. 12-18.
- [19] Economical Aspects of Variable Frequency Drives in Pumping Stations (2004). ITT Flygt System Engineering. 60 p.
- [20] Шихта Л. Влияние системы управления насосной станцией на водопроводную сеть в пределах наибольшей эффективности // Вестник Уральского Государственного Университета Путей Сообщения, 2012. – №3. – С. 35 – 42.
- [21] Бегляров Д. С. Экспериментальные исследования переходных процессов, возникающих при спуске и отключении насосного агрегата на насосной станции / Д. С. Бегляров, С. Н. Карамбилов, Д. Ш. Апресян, Д. М. Лиханов // Природообустройство, 2009. – №11. – С. 74 – 78.
- [22] Грабко В. В. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз // Вісник ВПІ, 2006. – №6. – С. 138 – 141.
- [23] Мошноріз М.М. Визначення оптимального співвідношення продуктивностей насосних агрегатів станції для забезпечення їх сумісної роботи / М. М. Мошноріз // Вісник ВПІ, 2008. – №1. – С. 69 – 73.
- [24] Мошноріз М.М. Алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів станції водопостачання / М. М. Мошноріз // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського, Випуск 3/2011 (15). – С. 58 – 61.
- [25] Мошноріз М. М. Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів / М. М. Мошноріз // Вісник НТУ «ХП», 2017. – №19 (1241). – С. 80 – 85. ISSN 2411-2798.

Стаття надійшла до редакції 27.12.2018

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРЫ ЕНЕРГОАУДИТА СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

- МОШНОРИЗ Н. Н. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханичних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua;
- ГОРБАНЬ А. С. студент Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна, e-mail: andriy96gorban@gmail.com;

**Цель работы.** повысить эффективность работы системы водоснабжения за счет автоматизации энергетического аудита, что позволит сформировать предварительные рекомендации для уменьшения электропотребления в системе водоснабжения любого типа.

**Методы исследования.** В работе использованы методы систематизации, анализа и синтеза основных практических решений для повышения эффективности работы системы водоснабжения; методы алгоритмизации, прогнозирования и математического моделирования.

**Полученные результаты.** Разработан подход к предварительному энергоаудиту любой системы водоснабжения. Предложен перечень общих решений для повышения эффективности работы системы водоснабжения средствами электрического привода.

**Научная новизна.** Предложен метод проведения энергетического аудита системы водоснабжения, который, в отличие от известных, позволит косвенно определить основные недостатки системы водоснабжения и принять меры для повышения эффективности работы системы.

**Практическая ценность.** Разработан алгоритм предварительного энергетического аудита системы водоснабжения. Разработаны рекомендации для повышения эффективности работы системы водоснабжения, которые учитывают опыт прошлых лет и результаты компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:** автоматизация, система водоснабжения; энергоаудит; эффективность работы; насосная станция; насосный агрегат; регулирования производительности; электропривод.

## AUTOMATION OF THE PROCEDURE FOR ENERGY AUDIT WATER SUPPLY SYSTEMS

- MOSHNIORIZ M. Ph.D, Associate professor, associate professor of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport of Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua;
- GORBAN A. student of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, Ukraine, e-mail: andriy96gorban@gmail.com;

**Purpose.** Increase the efficiency of the water supply system by automating the energy audit, which will allow to formulate preliminary recommendations for reducing the electricity consumption in the water supply system of any type.

**Methodology.** The paper uses methods of systematization, analysis and synthesis of the main practical solutions for improving the efficiency of the water supply system; methods of algorithmization of propagation and mathematical modeling.

**Findings.** An approach to the previous energy audit of any water supply system is developed. A list of general solutions for increasing the efficiency of the water supply system by means of electric drive is proposed.

**Originality.** The method of conducting energy audits of the water supply system is proposed, which, unlike the known ones, allows indirectly to identify the main disadvantages of the water supply system, which allows to take measures to improve the efficiency of the system.

**Practical value.** The algorithm of the previous energy audit of the system was developed water supply. Recommendations for improving the efficiency of the water supply system are developed, which take into account the experience of past years and the results of computer simulation.

**Keywords:** automation, water supply system; energy audit; work efficiency; pump station; pump unit; performance regulation; electric drive.

### REFERENCES

- [1] Zakon Ukrainy (2012). Pro priorityetni napryamky innovatsiyanoi diyalnosti v Ukraini [On Priority Areas of Innovation Activity in Ukraine]. № 5460-VI. 16.10.2012. Elektronnyy resurs: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/T113715.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T113715.html).
- [2] Zakon Ukrainy (2011). Pro enerhozberezhennya [On energy saving]. № 3038-VI. 17.02.2011. Elektronnyy resurs: <http://naer.gov.ua/normativno-pravovabaza>.
- [3] Skibina T. I. (2014) Enerhoaudyt yak osnova pidvyshchennya enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennya v systemakh tsentralizovanoho teplopostachannya [Energy audit as a basis for increasing energy efficiency and energy saving in systems of centralized heat supply]. *Economy and region*, №4 (47), 23 – 27.
- [4] Zerkalov D.V. (2012). Enerhozberezhennya v Ukraini: monohrafiya. Kyiv. Osnova, 147.
- [5] Leznov B. S. (2006). Enerhosberezhenye i rehluyruemyy pryvod v nasosnykh y vozdukhoduvnykh ustanovkakh. Moskva. Enerhoatomyzdat, 359.
- [6] Zalutskyy E. V. (1987). Nasosnye stantsyy: kursovoe proektyrovanye. Kyiv. Vyscha shkola, 167.
- [7] Korenukova T. V. (2001). Ratsyonalnyy elektropyvod nasosnykh stantsyy horodskoho vodostabzhenyia: dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk. 05.09.03. Kyiv, 155.
- [8] Myutsel F. (2006). Ekspluatatsyonnaya nadezhnost i ekonomychnost nasosnykh stantsyy [Operation reliability and economicality of pumping stations]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 1, 43. (in Russian).
- [9] Berezyn S. E. (2008). Optymyzatsyya formy y razmerov malykh nasosnykh stantsyy s nasosamy pohruzhnoy ustanovky [Optimization of the shape and size of small pumping stations with submersible pump pumps]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 5, 33 – 40. (in Russian).
- [10] Chebanov V. B. (2012). Tekhnyko-ekonomycheskye aspekty prymenenyia rehluyruemoho elektropyvoda v nasosnykh ustanovkakh [Techno-economic aspects of the use of an adjustable electric drive in pumping plants]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 1, 50 – 65. (in Russian).
- [11] Tverdokhleb Y.B., Kostyuk A. V. (2010). Enerhoefektyvnaya ekspluatatsyya nasosnoho oboudovanyia [Power-efficient operation of pumping roofing]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 1, 124 – 127. (in Russian).
- [12] Shadryn V. A. (2012). Povyshenye efektyvnosti yspolzovanyia elektroenerhyi [Improving the efficiency of the use of electric power]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 8, 13 – 15. (in Russian).
- [13] Leznov B. S., Chebanov V. B., Hynzburh Ya. N., Vorobeva N. P., Yskhakov Yu. B., Lezno N. B. (1999). Enerhosberezhenye v nasosnykh ustanovkakh [Energy saving in pumping plants]. *Industrial power engineering*, 7, 13 – 16.
- [14] Moshnoriz M. M. (2011). Metod ta zasoby optymyzatsiyi roboty elektropyvodiv nasosnoyi stantsiyi vodopostachannya: monohrafiya. Vinnytsya. VNTU,



- 138.
- [15] Horyachev H. V., Moshnoriz M. M. (2006). Optymizatsiya rezhymiv roboty nasosnoyi stantsiyi vodopostachannya [Optimization of the modes of work at the pine water supply station]. *Tezy dopovidey 4-yi Vseukrayinskoyi naukovy-tekhnichnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh i spetsialistiv*. Kremenchuk, 35.
- [16] Moskalenko V. V. (2004). Systemy avtomatyzirovannoho upravlenyya elektroprivoda. M. YNFRA-M, 208.
- [17] Sotnyk M. I., Khovanskyy S. O., Duzhak O. I. (2008). Analiz sposobiv rehulyuvannya roboty nasosnykh stantsiy komunalnoho vodopo-stachannya [An analysis of methods for controlling the production of pumping stations for communal water supply]. *Visnyk SumDU*, 2, 152 – 157.
- [18] Karhyn S. A. (2010). Analiz poter elektroenerhyy pry rabote hruppy nasosov, osnashchennykh rehulyruemym pryvodom [Analysis of electric power losses in the work of a group of pumps equipped with a re-gully drive]. *Water Supply and Sanitary Technique*, 3, 12 – 18. (in Russian).
- [19] Economical Aspects of Variable Frequency Drives in Pumping Stations (2004). *ITT Flygt System Engineering*, 60.
- [20] Shykhta L. (2012) Vlyyanye systemy upravlenyya nasosnoy stantsyey na vodoprovodnyuyu set v predelakh naybolshey efektyvnosti [Effect of the control system of the pump station on the water supply network in the areas of greatest efficiency]. *Bulletin of the south ural state university*, 3, 35 – 42. (in Russian).
- [21] Behlyarov D. S., Karambyrov S. N., Apresyan D. Sh., Lykhanov D. M. (2009). Eksperymentalnye issledovaniya perekhodnykh protsessov, voznykayushchyykh pry spuske y otklyuchenyy nasosnoho ahrehata na nasosnoy stantsyy [Experimental investigations of transient processes occurring during the descent and disconnection of the pump unit at the pump station]. *Environmental engineering*, 11, 74 – 78.
- [22] Hrabko V. V., Moshnoriz M. M. (2006). Vdoskonalennyya roboty nasosnoyi stantsiyi vodopostachannya [Improvement of the work of the pumping station of water supply]. *Visnyk VPI*, 6, 138 – 141.
- [23] Moshnoriz M. M. (2008). Vyznachennyya optymalnoho spivvidnoshennyya produktyvnostey nasosnykh ahrehativ stantsiyi dlya zabezpechennyya yikh sumisnoyi roboty [Determination of the optimal ratio of productivity of pumping aggregate stations to ensure their compatible work]. *Visnyk VPI*, 1, 69 – 73.
- [24] Moshnoriz M. M. (2011). Alhorytm roboty systemy keruvannya hrupoyu paralelno pratsuyuchykh nasosiv stantsiyi vodopostachannya [The algorithm of the operation of the control system by a group of parallel operating water supply stations]. *Visnyk KDPU imeni Mykhayla Ostrohradskoho*, 3/2011 (15), 58 – 61.
- [25] Moshnoriz M. M. (2017). Avtomatyzovana systema vodopostachannya, yaka skladayetsya z dvokh nasosnykh ahrehativ [An automated power supply system, which consists of two pump units]. *Visnyk NTU «KHPI»*, 19 (1241), 80 – 85.