

МЕТОД ТА ЗАСОБИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД ЗА ОСБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Отримав подальший розвиток підхід до оперативного управління міською системою водовідведення шляхом цілеспрямованого перерозподілу потоків стічних вод по транспортних магістралях мережі за рахунок узгодження роботи насосних станцій між собою. На відміну від відомих підходів пропонується як цільову функцію оптимізації обрати енергозатрати всіх насосних станцій і ввести «коефіцієнт збитковості» кожного з маршрутів транспортування, що дозволить виконати більш точніший підбір оптимальних маршрутів транспортування води і зменшити споживання електроенергії.

Ключові слова: електропривод, каналізаційна насосна станція, перетворювач частоти, критерій оптимальності, енергетична ефективність, комп'ютерне моделювання.

Summary

The approach to the operational management of the urban water drainage system by purposeful redistribution of sewage flows along the transport pipelines of the network was further developed due to the coordination of the work of pumping stations with each other. In contrast to the known approaches, it is proposed as a target function of optimization to select the energy consumption of all pumping stations and to introduce a "loss factor" of each of the transportation routes, which will allow to perform a more accurate selection of the optimal routes of water transport and reduce electricity consumption.

Keywords: electric drive, sewage pumping station, frequency converter, optimality criterion, energy efficiency, computer simulation.

Вступ

Екологічна та санітарно-гігієнічна обстановка великих міст багато в чому визначається надійною роботою систем водовідведення. Збільшення водоспоживання як у промисловій, так і побутовій сферах, призводить до того, що системи водовідведення багатьох міст працюють в напружених навантажувальних режимах, близьких до граничних за пропускну спроможністю. Можливості оперативного управління такими системами, засновані на евристичних уявленнях і досвіді обслуговуючого персоналу, в багатьох випадках виявляються практично вичерпаними [1].

Напірно-самопливні системи водовідведення населених пунктів, як правило, є великими споживачами електроенергії, що витрачається каналізаційними насосними станціями під час транспортування стічних вод. Загроза енергетичної кризи в країні висуває в даний час розробку і впровадження енергозберігаючих технологій, в тому числі – в системі комунального господарства. Це стає одним з найбільш актуальних і пріоритетних завдань.

Система водовідведення великого міста динамічна, вона постійно розвивається. У міру зростання міської території, будівництва нових і реконструкції старих районів виникає потреба в прокладанні додаткових каналів, будівництва насосних станцій і т.д. Це призводить до структурних змін системи водовідведення. Рішення про необхідність яких приймаються експертами з будівництва та експлуатації. Математичне моделювання мережі дозволяє попередньо проаналізувати ці рішення, обґрунтовано порівняти можливі варіанти і вибрати найкращий (управління на стадії проектування).

Оптимальне оперативне управління системами водовідведення великих міст, потребує застосування математичного моделювання і ЕОМ. Це дозволяє максимально використовувати реальну пропускну здатність систем, підвищити експлуатаційну надійність і поліпшити показники якості їх функціонування (зниження питомих енерговитрат на транспортування стічних вод), а також істотно полегшити і раціоналізувати роботу обслуговуючого персоналу.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення енергоефективності роботи системи транспортування стічних вод за рахунок розробки науково-методичних основ оптимального

оперативного управління напірно-самопливними системами водовідведення великих міст як в нормальних, так і в аварійних режимах експлуатації, що досягається злагодженим керуванням електроприводами насосних станцій.

Мета досягається шляхом вирішення наступних завдань:

1. Аналіз літературних джерел по темі роботи.
2. Розробка системи автоматизованої роботи електроприводів насосної станції.
3. Вибір критерію і розробка алгоритму оптимального оперативного управління системою водовідведення в нормальних експлуатаційних режимах на базі аналізу експлуатаційних економічних показників.
4. Розробка математичної моделі роботи системи транспортування стічних вод.
5. Моделювання роботи системи транспортування стічних вод відповідно до розроблено критерію.
6. Моделювання роботи насосної станції як одного з виконавчих елементів системи транспортування стічних вод.

Об'єкт дослідження – процес транспортування стічних вод великого міста від водозбірників до очисних споруд.

Предмет дослідження – критерій оптимального керування продуктивності каналізаційних насосних станцій.

Результати дослідження

Каналізаційна насосна станція (КНС) є найважливішими спорудами напірно-самотічної системи водовідведення. При оцінці якості функціонування системи за витратами електроенергії на транспортування стічних вод саме режими роботи КНС є визначальними.

Неможливо перелічити всіх дослідників, які внесли вклад в розвиток методів і техніки управління насосними агрегатами і насосними станціями. Відзначимо тут роботи Я. Н. Гінзбурга, В. В. Іванова, В. Я. Кареліна, Я. А. Кареліна, А. Л. Кузьміна, Б. С. Лезнова, А. В. Мінаєва, Ю. І. Нефедова, Г. С. Попковіча, В.І.Турка, В. Б.Чебанова, А. В. Чурганова, які займалися і займаються питаннями управління насосами і насосними станціями, що експлуатуються безпосередньо в каналізаційних мережах [1].

У даній роботі насосна станція розглядається не як самостійний об'єкт управління, а лише як точка мережі, проведення стічної води через яку вимагає певних витрат електроенергії. Таким чином, залишаються осторонь питання, пов'язані з оптимізацією роботи кожної конкретної КНС – це завдання локальної автоматизації.

При вирішенні завдань, що становлять предмет дослідження роботи, насосна станція розглядається як елемент, найважливішою характеристикою якого є статична характеристика "ВХІД-ВИХІД" [1 – 3], де під "ВХОДОМ" q розуміється значення подачі станції, а під "ВИХОДОМ" N -- спожита нею електрична потужність. При цьому виявилось зручним і доцільним відволіктися від конкретного технічного змісту даної КНС і способу управління її подачею і ідентифікувати шукану залежність за наявними даними, зафіксованим в реальних умовах експлуатації КНС в різних, визначених оперативною ситуацією умовах. Це дає можливість досліджувати об'єкт з позицій однакової методології та уніфікувати процедуру визначення статичних характеристик насосних станцій та мережі. Використовуючи відомі методи математичної статистики В. Б. Давндюк, А. Т. Романовою, В. П. Федянином розроблена методологія ідентифікації енергетичної характеристики КНС за експлуатаційним даними. Зміст такої ідентифікації полягає у визначенні коефіцієнтів аналітичної безперервної залежності $N = N(q)$, вигляд якої формується на підставі фізичних уявлень про об'єкт, або в результаті візуального аналізу дискретної множини значень [1 – 3]: $\{Q_i; E_i\}$, зафіксованих в режимах нормального функціонування КНС, де Q_i і E_i -- відповідно, обсяг перекачаної води і витрати електроенергії за певний i -й проміжок часу.

На підставі аналізу реальних експлуатаційних даних відомо про те, що в діапазонах подач залежність $E = f(Q)$ (а відповідно і залежність $N = N(q)$, що отримується перерахунком коефіцієнтів) може розглядатися або як лінійна, або як квадратична функція.

Залежно від рівня деталізації вихідних спостережених даних $\{Q_i; E_i\}$ пропонується розглянути три способи ідентифікації енергетичної характеристики КНС [1 – 3].

При оперативному управлінні процесом водовідведення використовується модель сталого поточкорозподілу, яка складається на основі таких припущень:

- мережа є системою взаємодіючих структурних елементів двох типів: активних (КНС спільно з напірними водоводами, очисні споруди і, умовно аварійні, водовипуски) і пасивних (однорідних ділянок каналів і колекторів);

- сумарна кількість стоків, що доходить до виходу СТСВ, дорівнює загальній кількості стічних вод, що надходять в мережу;

- має місце закон збереження потоку (закон Кірхгофа): алгебраїчна сума витрат в будь-якому вузлі мережі, крім входів і виходів, дорівнює нулю.

Найбільш зручним способом опису інженерних мереж є їх представлення у вигляді графів. Такий підхід можна знайти, зокрема, в роботах А.Г.Евдокімова. В.В. Дубровського. А.Д.Тевяшева. В.Б.Давидюка та інших дослідників.

Будь який маршрут, по якому транспортується одиниця об'єму стічних вод, складається з послідовності пасивних і активних споруд. Оскільки через пасивні споруди стічна вода рухається самопливом, кількість електроенергії на транспортування одиниці об'єму води (питомі енерговитрати) складається з кількості електроенергії, спожитої саме активними спорудами. Отже, кожен j -й маршрут характеризується своїми питомими енергозатратами e_j , які в загальному випадку, залежать від об'єму стічних води, що транспортується по цьому маршруту. Питомі енергозатрати маршрутів, що проходять через аварійні водовипуски, будуть значно більшими, ніж окремих споруд. Це обов'язково треба враховувати під час прогнозування.

Якщо припустити, що СТСВ складається з S насосних станцій, то кожна з них матиме свої питомі енергозатрати на транспортування одиниці об'єму води. Якщо енергетична характеристика всіх насосних станцій описується поліномом другого порядку (випадок 2), що є найскладнішою формою опису, то затрати енергії всією СТСВ можна описати рівнянням [1 – 3]:

$$E = \sum_{s=1}^S \left(a_s + b_s \cdot \sum_{j \in S} q_j + c_s \cdot \left(\sum_{j \in S} q_j \right)^2 \right) \quad (1)$$

Тоді умова

$$E \Rightarrow \min \quad (2)$$

буде критерієм мінімізації споживання електроенергії системою транспортування стічних вод.

Таким чином, при відомих матрицях $[A]$, $[W]$, $[B]$ та $[Q]$ визначається матриця $[q]$ за умови $E \Rightarrow \min$. Це відома задача математичного програмування, вирішити яку можна стандартними засобами. Вихідними даними для розрахунку є витрати води Q_i на всіх K входах мережі. Результатом розрахунку стануть значення q_j (елементи матриці $[q]$) за всіма маршрутами транспортування стічних вод, що гарантують найменші питомі енергозатрати. Завантаження кожного споруди мережі визначається як сума витрат по всіх маршрутах, що проходять чере цю споруду, і обмежується її пропускнуою здатністю.

Висновки

1. Отримав подальший розвиток підхід до оперативного управління міською системою водовідведення шляхом цілеспрямованого перерозподілу потоків стічних вод по транспортних магістралях мережі за рахунок узгодження роботи насосних станцій між собою. На відміну від відомих підходів пропонується як цільову функцію оптимізації обрати енергозатрати всіх насосних станцій і ввести «коефіцієнт збитковості» кожного з маршрутів транспортування, що дозволить виконати більш точніший підбір оптимальних маршрутів транспортування води і зменшити споживання електроенергії.

2. Отримала подальший розвиток математична модель системи транспортування стічних вод, що на відміну від відомих дозволяє описати залежність енергетичних затрат цілої системи від продуктивностей кожної насосної станції з врахуванням коефіцієнта ефективності роботи всіх насосних станцій та «коефіцієнта збитковості» маршрутів транспортування.

3. Розроблено алгоритм оптимального функціонування системи водовідведення великого міста в нормальних умовах експлуатації, при якому забезпечується мінімальне споживання електроенергії насосними станціями.

4. Розроблено алгоритм роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару.

5. Розроблено програмне забезпечення для роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару, на базі обладнання Siemens.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ермолин Ю. А. Оптимизация процесса транспортировки сточных вод в системах водоотведения крупных городов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук. по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – Москва, 1995. – 48 с.

2. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системх водовідведення великих міст: тези доповідей [текст] / М. М. Мошноріз, М. С. Гуцько // Матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції "Енергоефективність: наука, тех-нології, застосування". Частина I. Київ, 27 листопада 2019 р. - Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2019. - С. 45- 50.

3. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, М. С. Гуцько // Матеріали регіо-нальної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020). Електроенергетика та електромеханіка», Вінниця, ВНТУ, 01.05.2020 – 05.05.2020. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8449>.

Мошноріз Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua.

Ковтун Олег Володимирович – студент групи EM-16б, факультет Електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kowtun56@gmail.com.

Moshnoriz Nikolai Nikolaevich – PhD, associate professor of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, e-mail: ichernavskiy@gmail.com.

Kovtun Oleg Vladimirovich - student of EM-16b group, Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kowtun56@gmail.com.