

# ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ

Вінницький національний технічний університет;

## *Анотація*

*Розроблено математичну модель системи транспортування стічних вод. Розроблено алгоритм оптимального розподілу потоків каналізаційних стоків між насосними станціями. Розроблено програму роботи системи керування. Шляхом комп'ютерного моделювання перевірено працездатність насосної станції та оптимізаційного алгоритму.*

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

## *Abstract*

*A mathematical model of the wastewater transportation system has been developed. An algorithm for optimal distribution of sewage flows between pumping stations has been developed. The program of control system operation is developed. Computer simulation tested the efficiency of the pumping station and the optimization algorithm.*

**Key words:** 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 [1, 2].

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.п. 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 [1, 3].

**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.

### Результати дослідження

При вирішенні завдань, що становлять предмет дослідження роботи, насосна станція розглядається як елемент, найважливішою характеристикою якого є статична характеристика "ВХІД-ВИХІД", 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. 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  $\{Q_i; E_i\}$  [1]

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.

Відоми спосіб представлення СТСВ як направленого, зв'язного, ациклічного графу. Вершинами такого графу ж споруди мережі каналізації (насосні станції, резервуари, колектори тощо), а дуги вказують напрям передачі води між сусідніми спорудами. На графі виділяються вершини, через які стічна вода надходить у мережу; такі вершини є входами мережі. Витрати води на входах постійно контролюються і вважаються відомими; вони визначають сумарне навантаження на мережу в будь-який поточний момент часу. Всім вершинам графу присвоюються номери. Якщо загальна кількість вершин  $R$ , то їх нумерацію зручно виконувати у такому порядку: спочатку від одиниці нумерують  $K$  вхідних вершин, а всі інші  $(R - K)$  нумеруються починаючи від  $K+1$ . Від кожного входу стічна вода може транспортуватися до виходів мережі, в загальному випадку, за кількома маршрутами. Під маршрутом розуміється послідовність споруд, через які вода проходить при своєму русі по мережі. Для реальної мережі кількість  $P$  таких маршрутів завжди кінцева.

З врахуванням введеної нумерації та позначень граф стану СТСВ можна описати матрицею  $[A]$ , що має  $R$  стрічок (вершин) та  $P$  стовпчиків (маршрутів) [1]. Елементи матриці  $a_{ij}$  ( $i = \overline{1, R}; j = \overline{1, P}$ ) можуть приймати значення «1» або «0».

Для зручності подальшого використання матрицю  $[A]$  ( $R \times P$ ) можна подати у блоковому вигляді, розділивши окремо вершини вхідні ( $A_1$ ) від всіх інших ( $A_2$ ).

Введемо до розгляду матрицю-стовпець витрат води за маршрутами  $[q]$ , яка має  $P$  стрічок і матрицю витрат на входах в мережу.

Тоді можна записати таке матричне рівняння:

$$[A_1][q] = [Q], \quad (1)$$

яке фізично показує, що вся стічна вода, що надходить до входів системи, повинна дійти до її виходів.

Кожна споруда СТСВ характеризується своєю пропускною здатністю, що можна записати матрицею  $[w]$ , яка має  $(R-K)$  рядків. Нумерація елементів матриці пропускних спроможностей  $[C]$  повинна відповідати нумерації вершин графа системи водовідведення. Числові значення елементів цієї матриці визначаються конструктивними параметрами споруд [1]. Матрична нерівність

$$[A_2][q] \leq [W], \quad (2)$$

враховує вимогу безаварійної роботи кожної споруди, тобто щоб кількість води через неї не перевищувала її пропускну здатність.

При прийнятих припущеннях, а також при очевидній умові  $q_j \geq 0$ , яка констатує односпрямованість руху води через кожную споруду, система записаних вище рівнянь є математичною моделлю СТСВ. Будь який набір значень  $\{q_1, q_2, \dots, q_P\}$ , що задовільняє цю систему рівнянь, називається планом транспортування стічних вод. Таких планів, в загальному випадку, існує нескінченно багато. Фізично це означає, що вся стічна вода; надходить в мережу, може бути транспортовано до виходів відповідно до будь-якого плану. Для того, щоб з безлічі можливостей вибрати лише одну, вводять показники якості функціонування мережі. Найкращим буде такий план, який оптимізує показники якості.

Відповідно до прийнятого критерію керування показник якості може бути питомими енерговитратами на транспортування стічної води через мережу.

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 вод, 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]:

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

Тоді умова  $E \Rightarrow \min$  буде критерієм мінімізації споживання електроенергії системою транспортування стічних вод.

Розглянемо СТСВ, яка має таку графоаналітичну форму

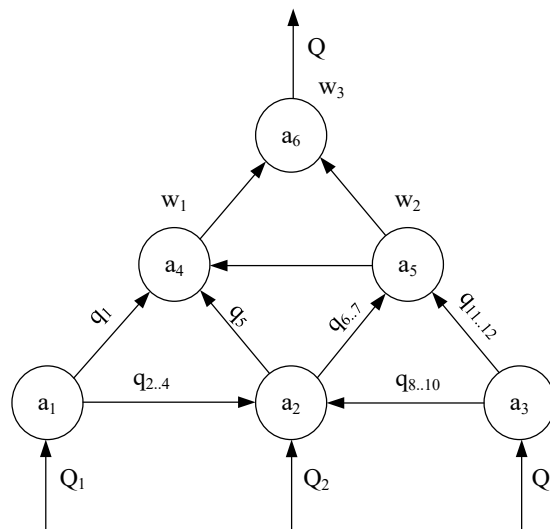


Рисунок 1 – Граф СТСВ

На графі СТСВ позначено:

$Q_1, Q_2, Q_3$  – об'єм води, що подається на первинні споруди водовідведення;

$a_1, a_2, \dots, a_6$  – стан (працює чи ні) споруди мережі водовідведення;

$q_1, q_2, \dots, q_{12}$  – витрати води по кожному маршруту водовідведення;

$w_1, w_2, w_3$  – пропускна спроможність споруд водовідведення;

$Q$  – загальний об'єм води, що проходить через СТСВ.

Стрілками на графі позначений можливий потік води між двома спорудами. Припустимо, що всі споруди нашої мережі мають характер транспортування води, що відповідає активному. Тобто вони всі споживають електроенергію. Для побудованої СТСВ  $R = 6, P = 12, K = 3, S = R$ . Сформуємо її математичну модель. Матриця споруд каналізаційної системи матиме вигляд:

На основі проведеної оптимізації за методом «Узагальненого приведенного градієнта» отримано значення подач кожної з споруд каналізаційної системи та подач кожного з маршрутів системи, при яких досягається мінімум енергетичних затрат на транспортування заданого об'єму рідини. Результат оптимізації для подач  $Q_1-Q_2-Q_3 = 25-35-40$  подамо також у табличній формі, він матиме вигляд:

У таблиці 1 позначено: «Споруди (i)» – номер споруди каналізаційної системи;  $i$  – номер споруди, що відповідає номеру рядка у матриці  $A$ ; «Маршрут (j)» – номер маршруту транспортування стічних вод;  $j$  – номер маршруту, що відповідає номеру стовпця у матриці  $A$ ;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – вхідна подача води на каналізаційні споруди першого рівня;  $qP$  – об'єм стоків, що подаються за одиницю часу по  $P$ -му маршруту;  $qR$  – об'єм стоків, що проходять через  $R$ -ту каналізаційну споруду;  $E$  – енергетичні затрати на перекачування всіх стоків СТСВ.

Таблиця 1 – Результат оптимізації для подач  $Q_1-Q_2-Q_3 = 25-35-40$  у табличній формі

45, Q3- 40%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	0,00	0,98	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00
	2	0,00	0,42	0,37	0,48	1,00	0,48	0,57	0,42	0,37	0,48	0,00	0,00	0,90	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,36	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP	0,65	0,76	0,94	0,82	1,00	0,94	0,55	0,94	0,91	0,94	0,97	0,78			

Всі величини у таблиці внесено у відносних величинах. Тобто, кожен параметр може змінюватися від нуля до свого номінального або максимального значення. Максимальному значенню буде відповідати значення «1».

### Висновки

Якщо проаналізувати результати оптимізації потоків стічних вод між спорудами СТСВ, то можна побачити такі особливості:

1. Остання споруда СТСВ ( $a_6$ ) завжди працює з однаковою продуктивністю, що відповідає загальній подачі всієї системи, тобто  $Q_1 + Q_2 + Q_3$ .

2. Зі збільшенням подачі на каналізаційні споруди першого рівня збільшується їх продуктивність і завантаженість. Зі зменшенням подачі – їх завантаженість зменшується.

3. Коли змінюється подача насосних станцій загальна кількість електроенергії, що вони споживають, також змінюється і передбачити характер цієї зміни важко. Більший вплив на загальне споживання електроенергії мають малоефективні насосні станції великої потужності.

Таким чином, для того, щоб підвищити енерго ефективність роботи СТСВ необхідно на стадії проектування вирішувати задачу оптимізації її подач на окремих спорудах. Важливий вплив на ефективність роботи системи має запроєктована пропускна спроможність її ділянок та споруд. Як бачимо, за результатами розрахунків певної СТСВ, діапазон регулювання продуктивності кожної насосної станції може коливатися в широких межах. Для кращої ефективності він має бути вузьким і неглибоким. Тому задачу оптимізації роботи СТСВ можна доповнити і обмеженням на діапазон регулювання продуктивності насосних станцій.

За допомогою вирішення задачі оптимізації роботи окремих споруд СТСВ можна досягти зменшення споживання електроенергії, прискорити процес прийняття рішення про роботу системи в аварійних ситуаціях, посприяти у виборі елементів системи на стадії проектування тощо. Крім того, використовуючи досвід моделювання таких систем, можна алгоритмізувати процес прийняття рішення диспетчером. Це дозволить також підвищити надійність роботи системи, оскільки таке рішення буде позбавлене суб'єктивної помилки.

### 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. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 359 с.

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

**Гуцько Максим Сергійович** – студент гр. ЕПА-18м Вінницького національного технічного університету, e-mail: [haskopolo@gmail.com](mailto:haskopolo@gmail.com).

**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](mailto:moshnoriz@vntu.edu.ua).

**Maxim Gutsko** - student gr. EPA-18m of Vinnytsia National Technical University, e-mail: [haskopolo@gmail.com](mailto:haskopolo@gmail.com).

**Moshnoriz Nikolai Nikolaevich** – PhD, associate professor of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.