

## СТАБІЛІЗАЦІЯ ТИСКУ ВОДИ У СІЛЬСЬКИХ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Хандола Ю. М., Назаренко О. Ю., Середин М. Ю.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*В системі сільськогосподарського водопостачання, що включає станцію другого підйому та не кільцеву водопровідну мережу, проведено порівняльний розрахунок тиску в трубопроводі при наявності системи автоматичної стабілізації тиску та без неї.*

**Постановка проблеми.** Зі збільшенням об'ємів споживання води широкого розповсюдження здобули системи з двома ступенями підйому води. Постачання води споживачу та підтримка заданого напору в трубопроводі забезпечується застосуванням групи консольних насосів, увімкнення яких ступінчато регулює тиск в залежності від розходу.

Це не дає бажаної стабілізації та призводить до коливання (стрибків) тиску.

Технічне обладнання тваринницьких ферм та кормоцехів вимагає стабільного підтримання заданого напору води. У таких системах найбільш ефективними являються насосні станції з плавним регулюванням подачі [2].

Зниження вартості водозабірних мереж та втрат води у них може бути забезпечене при введенні автоматичної стабілізації тиску в системі за рахунок застосування регульованого привода насосних агрегатів [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукових роботах [1-4] створено наукові основи та проаналізовано можливість використання систем стабілізації води з використанням електропривода. Проте, проведений аналіз свідчить про недостатність детальних досліджень динаміки робочих процесів, обґрунтування закономірностей функціональної залежності між параметрами та характеристиками приводів у випадку їх застосування для різних насосних агрегатів, що вимагає проведення подальших додаткових теоретичних та експериментальних досліджень для встановлення нових методів розрахунку приводів у системах стабілізації тиску води.

Питання визначення фактичних параметрів роботи насосних агрегатів і особливо питання підтримки параметрів в оптимальному режимі залишається відкритим через відсутність методики правильної побудови кривих втрат напору в трубопроводі [6].

**Мета статті.** Обґрунтування доцільності застосування регульованого електропривода для стабілізації тиску води у сільських водопровідних мережах.

**Основні матеріали дослідження.** У якості об'єкта дослідження розглядається система сільськогосподарського водопостачання, що включає станцію другого підйому та не кільцеву водопровідну мережу.

Тиск контролюють у заданій точці на відстані  $L$  від насосної станції. Споживання води по довжині трубопроводної лінії задають через функцію  $q(l)$ , що не обов'язково має бути диференційованою.

Якщо відомий переріз трубопроводу, його тип, місце розташування секціонуючих засувок і вибрана середня швидкість подачі води, то достатньо точно можна визначити функцію  $z(l)$  (питомий гідравлічний опір на кожній ділянці).

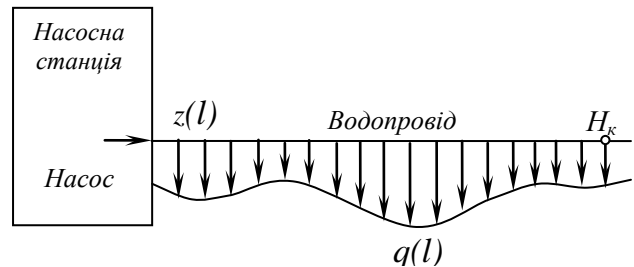


Рисунок 1 – Структура водопровідної не кільцевої мережі сільськогосподарського водопостачання

Насос прийнято математично виражати  $Q, H$ , характеристикою виду:

$$H = H_0 - (Q - Q_0)^{P_n} Z_n, \quad (1)$$

де  $H$  – напір, що створює насосний агрегат;  
 $Q$  – витрата води через насос;  
 $H_0, Q_0, P_n, Z_n$  – постійні параметри.

Для рішення задачі необхідно виразити розподіл тиску в трубопроводі при наявності системи автоматичної стабілізації тиску та без неї в екстремальних умовах.

Умовою екстремальної характеристики розподілу тиску в першому випадку буде найбільший водозабір *sup*  $q(l)$ . При цьому насос працює з максимальною віддачею води.

Якщо прийняти залежність втрат напору на одиницю довжини трубопроводу для будь-якої її ділянки виду:

$$\Delta h = Q^{P_r}(l) \Delta Z(l),$$

то екстремальна функція розподілу тиску в ньому буде визначатися:

$$\sup h_1(l) = H_0 - \left[ \int_0^L \sup q(l) dl - Q_0 \right]^{P_n} Z_n - \int_0^l (\sup q(l) dl)^{P_r} Z_l dl \quad (2)$$

У другому випадку умовою екстремального розподілу напору буде мінімальний водорозбір  $\inf ql$ . Тоді необхідний розподіл буде:

$$\sup h_2(l) = H_0 - \left[ \int_0^L \inf q(l) dl - Q_0 \right]^{P_n} Z_n - \int_0^l \left( \int_l^L \inf q(l) dl \right)^{P_r} Z_l dl \quad (3)$$

Виконуючи оцінку економії витрат на матеріали трубопроводів, необхідно врахувати, що без системи стабілізації тиску трубопровід вибирають з умови  $\inf ql$  та  $\sup h_2l$ , а при наявності  $\sup ql$  та  $\sup h_1l$ .

Звідси, припускаючи товщину стінок трубопроводу пропорційною тиску в ньому, визначаємо витрати матеріалу:

$$dG(l) = \alpha h(l) D(l) \quad (4)$$

де  $D(l)$  – внутрішній діаметр трубопроводу.

Для забезпечення сталості середньої швидкості води у водопроводі  $D(l)$  має задовольнятися умова:

$$D(l) = 2 \sqrt{\frac{Q(l)}{\pi v}} \quad (5)$$

де  $v$  – середня швидкість потоку воду при заданому перерізі водопроводу.

Підставивши у рівняння (4) значення (2), (3), (5) та інтегруючи, отримаємо витрати матеріалів на трубопровід при наявності системи стабілізації тиску води та без неї:

$$G_1 = \sqrt{\frac{4\alpha^2}{\pi v}} \int_0^L \sup h_1(l) \left[ \int_l^L \sup q(l) dl \right]^{1/2} dl; \quad (6)$$

$$G_2 = \sqrt{\frac{4\alpha^2}{\pi v}} \int_0^L \sup h_2(l) \left[ \int_l^L \inf q(l) dl \right]^{1/2} dl. \quad (7)$$

У практиці розрахунків найбільш зручною є оцінка відносної економії витрат матеріалів.

$$\Delta_r = 1 - \frac{G_1}{G_2} =$$

$$= 1 - \frac{\int_0^L \sup h_1(l) \left[ \int_l^L \sup q(l) dl \right]^{1/2} dl}{\int_0^L \sup h_2(l) \left[ \int_l^L \inf q(l) dl \right]^{1/2} dl}. \quad (8)$$

При недиференційованих функціях  $q(l)$  та  $Z(l)$  вираз (8) легко представити у перетвореному вигляді та розрахувати.

Для оцінки величини зниження втрат води достатньо помітити, що вони пропорційні квадратному кореню напору в трубопроводі на кожній ділянці. Виходячи з цього, відносно зниження втрат буде дорівнювати:

$$\Delta_B = 1 - \frac{\int_0^L [\sup h_1(l)]^{1/2} dl}{\int_0^L [\sup h_2(l)]^{1/2} dl}. \quad (9)$$

Безперервність  $z(l)$  і  $q(l)$  являється припущенням, що спрощує оцінку впливу автоматичної стабілізації тиску на техніко-економічні показники системи сільськогосподарського водопостачання. Для реальної системи водопостачання визначені дискретні аналоги формул (2), (3), (8), (9).

У них  $\sup ql$  буде відповідати множина:

$$\{ \max q_i; i = 1, 2, \dots, n \}, \text{ а } \inf q(l) - \{ \min q_i; i = 1, 2, \dots, n \}.$$

Напір у кожній точці водозабору (дискретний аналог (2) та (3)) буде дорівнювати:

$$\max h_i^{(1)} = H_n - Z_n \left( \sum_1^n \max q_i \right)^{P_n} - \sum_{K=1}^i Z_K \left( \sum_{m=K+1}^n \max q_m \right)^{P_i} \quad (10)$$

$$\max h_i^{(2)} = H_n - Z_n \left( \sum_1^n \min q_i \right)^{P_n} - \sum_{K=1}^i Z_K \left( \sum_{m=K+1}^n \min q_m \right)^{P_i} \quad (11)$$

Відповідно до виразів (10) і (11) формули (8) та (9) будуть мати вигляд:

$$\Delta_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \max h_i^{(1)} \left( \sum_{j=i}^n \max q_j \right)^{1/2}}{\sum_{i=1}^n \max h_i^{(2)} \left( \sum_{j=i}^n \min q_j \right)^{1/2}}; \quad (12)$$

$$\Delta_B = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\max h_i^{(1)}}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\max h_j^{(2)}}}. \quad (13)$$

Теоретичні результати можна перевірити розрахунком конкретного прикладу. Для сільськогосподарського водопостачання в [2] за  $ql$  рекомендовано приймати рівномірний розподіл.

В якості об'єкта обрана насосна станція СТОВ "Мрія" з насосом K45/55 K80-50-2003K6,  $Q_n = 50 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H = 50$  м. Станція забезпечує тиск в мережі у споживача на відстані 2,5 км від неї, рівний 15 м. Коефіцієнт шляхового споживання 0,6, тобто ця частина води споживається уздовж лінії, інша – у кінці. Для приводу насоса вибираємо частотний перетворювач Altivar Process ATV630D15N4, до аналогового входу, що конфігурується за струмом 0-20 мА / 4-20 мА, підключено датчик тиску OsSense XMLK010B2C21. Функції та параметри перетворювача частоти можуть конфігуруватися з програмним забезпеченням SoMove, або в середовищі програмування Unity при застосуванні Altivar Process в рамках архітектури Plant Stru Xure систем автоматизації [5]. Експериментальний розподіл  $ql$  з урахуванням коефіцієнта нерівномірності матиме вигляд:

$$\inf q(l) = \frac{0,5Q_n}{L}; \quad (14)$$

$$\sup q(l) = \frac{1,2Q_n}{L}, \quad (15)$$

де  $Q_n$  – номінальний рівень водоспоживання.

Після підстановки (14) та (15) у (2), (3) і (8) розрахована величина економії матеріалів при побудові трубопроводу  $\Delta_T = 0,168$ . Для обраного трубопроводу оцінена економія затрат на матеріали:

$$\Delta K_T = (C_{mp} - C_n) L \Delta_m = (16,6 - 6) 2,5 \cdot 0,168 = 4,47,$$

де  $C_{mp}$  – ціна 1 км трубопроводу з усередненим діаметром;

$C_n$  – вартість прокладання та виготовлення 1 км трубопроводу без врахування затрат на матеріали.

**Висновок.** Використання системи стабілізації тиску у водопроводах сільськогосподарського водопостачання дозволяє не лише економити електроенергію, а й знизити затрати на трубопроводи, зменшити втрати води та підвищити надійність роботи гідравлічного обладнання.

#### Список використаних джерел

1. Водопостачання і водовідведення: навчальний посібник / О. О. Мацієвська; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів: Видавництво Львів. політехніки, 2015. – 140 с.

2. Погорілець О. М. Гідропривод сільськогосподарської техніки: підручник / Погорілець О. М., Волянський М. С., Войтюк В. Д., Пастушенко С. І.; за ред. О. М. Погорільця. – К.: Вища освіта, 2004. – 368 с.: іл.

3. Shigapov A. V. A Hydraulic Drive of Booster Pumps / A. V. Shigapov // Thermal Engineering. – 2007. – Vol. 54. – № 3. – P. 240 – 241.

4. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання: Навчальний посібник / І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, М. В. Синявський та ін. // За ред. Голодного І. М. – К.: Аграр. Медіа Груп, 2012. – 513 с.

5. Энергоэффективность. Преимущества применения частотно-регулируемого привода в насосных, вентиляционных и компрессорных установках. Библиотечка электрика (публикации компании "Шнейдер Электрик"). - К.: ДИА, 2010. – Вып. 12. – 32 с.

6. Хандола Ю. М. Дослідження регульованих електроприводів АПК на лабораторному стенді / Ю. М. Хандола, М. Ю. Середин, О. Ю. Хандола // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, 2015. – Вип. 15. – Т. 2.

#### Аннотация

### СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ В СЕЛЬСКИХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Хандола Ю. М., Назаренко О. Ю., Середин М. Ю.

*В системе сельскохозяйственного водоснабжения, которая включает станцию второго подъема и некруговую водопроводную сеть, проведен сравнительный расчет давления в трубопроводе при наличии системы автоматической стабилизации давления и без нее.*

#### Abstract

### STABILIZATION OF WATER DRY SYSTEMS WITH ADAPTATION A REGULATED ELECTRIC DRIVER IN AGRICULTURAL WATER CONTROL NETWORKS

Y. Handola, O. Nazarenko, M. Seredin

*In the system of agricultural water supply, which includes a second lifting station and a non-circular water supply network, a comparative calculation of pressure in the pipeline was conducted in the presence and without an automatic stabilization system.*