

УДК 532.542.1: 681.518

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2026-6-7>

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ В МАГІСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДІ

**Суботін Олег Володимирович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації, електро– та робототехнічних систем  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
ORCID ID: 0000-0002-6095-5840  
Scopus ID: 57210213880

**Койфман Олексій Олександрович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри автоматизації, електро– та робототехнічних систем  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
ORCID ID: 0000-0003-2075-7417  
Scopus ID: 55808117000

**Сімкін Олександр Ісакович,**

кандидат технічних наук,  
професор кафедри автоматизації, електро– та робототехнічних систем  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
ORCID ID: 0000-0002-9939-7866  
Scopus ID: 7006970867

**Антіпов Максим Михайлович,**

магістрант кафедри автоматизації, електро– та робототехнічних систем  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
ORCID ID: 0009-0007-9579-7807

*Однією з особливостей роботи насосних станцій забору й перекачування води є принципово невизначений режим їх роботи, що часто не дає змоги на стадії проектування однозначно визначитися з вибором робочої машини. Основним вимогам до системи водопостачання є забезпечення заданого напору для споживачів води при постійних і змінних витратах води. Ускладнюється це завдання тим, що в процесі експлуатації насосної станції режими роботи установок істотно змінюються. Отже, основною проблемою транспортування води є підтримка заданого тиску. Проведений аналіз способів регулювання подання насосних установок довів, що майже всі вони спрямовані на технологічні завдання й майже не враховують енергетичних аспектів транспорту води, що призводить до втрат споживаної електроенергії через неефективну роботу дросельного органу, створення надлишкових напорів у трубопроводі та різного роду витоків води в мережі та в споживача. Додатково питання плавного регулювання тиску в трубопроводі є також актуальним через те, що різкі зміни тиску в трубопроводі є найбільшою і найпоширенішою причиною виходу з ладу обладнання насосної станції. Тому мета роботи стосується зменшення затрат енергоресурсів насосної станції через розробку та дослідження автоматизованої системи регулювання тиску в магістральному трубопроводі. Сучасні підходи до виконання цього завдання пов'язані з використанням у контурі керування насосами перетворювачів частоти, що дає змогу транспортувати воду з плавним та точним регулюванням робочих параметрів насосної установки без непродуктивних витрат електроенергії. Удосконалення системи регулювання тиску в магістральному трубопроводі дає змогу покращити роботу системи, що підвищує техніко-економічні показники роботи насосної станції і зменшує збитки підприємства.*

**Ключові слова:** водонасосна станція, напір, виток, насос, засувка, байпас, приводний двигун, перетворювач частоти, система регулювання тиску, параметр, структура системи, датчик тиску.

**Subotin Oleg, Koifman Olexsiy, Simkin Olexsandr, Antipov Maksym. Improvement of the pressure regulation system in the main pipeline**

*One of the features of the operation of pumping stations for water intake and pumping is the fundamentally uncertain mode of their operation, which often does not allow a clear decision on the choice of working machine*

at the design stage. The main requirements for the water supply system are to ensure a given pressure for water consumers at constant and variable water flows. This task is complicated by the fact that during the operation of the pumping station, the operating modes of the installation change significantly. Therefore, the main problem of water transportation is to maintain a given pressure. The analysis of methods for regulating the supply of pumping stations has shown that almost all of them are aimed at technological tasks and practically do not take into account the energy aspects of water transportation, which leads to losses of consumed electricity due to inefficient operation of the throttle body, the creation of excess pressure in the pipeline and various kinds of water leaks in the network and at the consumer. In addition, the issue of smooth pressure regulation in the pipeline is also relevant due to the fact that sudden changes in pressure in the pipeline are the largest and most common cause of failure of pumping station equipment. Therefore, the purpose of the work is to reduce the energy costs of the pumping station through the development and research of an automated pressure control system in the main pipeline. Modern approaches to solving this problem are associated with the use of frequency converters in the pump control circuit, which allows water transport with smooth and accurate regulation of the operating parameters of the pumping unit without unproductive electricity consumption. Improving the pressure control system in the main pipeline allows you to improve the operation of the system, which increases the technical and economic performance of the pumping station and reduces the losses of the enterprise.

**Key words:** water pumping station, pressure, leaks, pump, valve, bypass, drive motor, frequency converter, pressure control system, parameter, system structure, pressure sensor.

**Вступ.** Однією з особливостей роботи насосних станцій забору й перекачування води є принципово невизначений режим їх роботи, що пов'язано з добовим і сезонним змінами споживання води як промисловими підприємствами, так і населенням. Ця невизначеність часто не дає змоги на стадії проєктування вибрати робочу машину, яка оптимально задовольняє режиму роботи системи. Ба більше, в процесі експлуатації режими роботи установки істотно змінюються [1].

Традиційні способи регулювання подачі насосних установок спрямовані на технологічні завдання й майже не враховують енергетичних аспектів транспортування води. За такого регулювання до 15 %, а в окремих випадках до 30 % споживаної електроенергії витрачається нерационально через: втрати енергії в дросельовальному органі; створення надлишкових напорів у трубопроводній мережі; витоків і непродуктивних витрат води в мережі та в споживача [2].

При узгодженні тиску на виході насоса з необхідним у трубопроводі методом дроселювання у водовід уводиться засувка, тобто створюється механічне перешкоджання вільному проходженню води. При цьому зі зменшенням подачі води потужність, що віддається в систему трубопроводу, швидко знижується (пропорційно квадрата подачі), а потужність на валу насоса залишається майже незмінною. Різницю цих двох потужностей становлять втрати, які виділяють у навколишнє середовище і воду у вигляді тепла. При іншому способі регулювання продуктивності й тиску на виході насосної станції шляхом періодичного включення і відключення окремих насосних агрегатів перевитрата електроенергії відбувається через появу надлишкового тиску у водоводах при підключенні насосних агрегатів сумарною потужністю,

на що також непродуктивно витрачається потужність приводних двигунів [3; 4].

Крім того, якщо вмикання або вимикання насосів проводиться задля підтримки технологічного параметра (тиску в трубопроводі), то частота включення приводних двигунів насосів тим вища, чим точніше підтримується технологічний параметр. Часті ввімкнення і вимкнення двигунів викликають механічне зношення й передчасний вихід з ладу майже всього обладнання насосної станції – від електрообладнання, де виникають небажані кидки струмів і просадки напруги, до механічної системи валів і двигуна, де виникають пікові крутні моменти. При швидкому пуску насоса зростання напору в трубопроводі, як правило, викликає гідравлічні удари. Помічено, що більшість розривів трубопроводів мали місце в момент пуску насосів. Аналізовані причини ведуть до додаткових витрат на заміну або ремонт обладнання і трубопроводів [5; 6].

Для усунення зазначених недоліків проводять модернізацію обладнання та виконавчих механізмів на більш сучасні. Причому намагаються добитися як найефективнішого варіанта функціонування системи загалом.

**Метою роботи** є зменшення затрат енергоресурсів насосної станції шляхом розробки та дослідження автоматизованої системи регулювання тиску в трубопроводі.

**Методи та методики дослідження.** Насоси магістрального трубопроводу є складними технічними складниками і відіграють вирішальну роль у транспортуванні води. Одні з них призначені для підтримки постійного тиску в трубі, інші – для підвищення показника тиску при його контролі. Основним завданням транспортування води є підтримка тиску, встановленого нормативними вимогами для певного елемента системи або регіону. Сучасні підходи до

регулювання тиску в трубопроводі пов'язані з використанням у контурі керування насосами перетворювачів частоти (далі – ПЧ) [4; 5].

Основними вимогами до системи водопостачання є забезпечення заданого напору для споживачів води при постійних і змінних витратах води [3; 4].

Водонасосна станція здійснює подання прісної води для технологічних установок і протипожежних потреб з місцевих джерел водопостачання, працює цілодобово протягом усього року й при цьому витрачає близько 760 000 м<sup>3</sup> / рік води. Споживачами насосної станції є: каналізаційна насосна станція (далі – КНС), дожимна насосна станція (далі – ДНС).

Технологічна схема насосної станції (далі – НС) наведена на рис. 1.

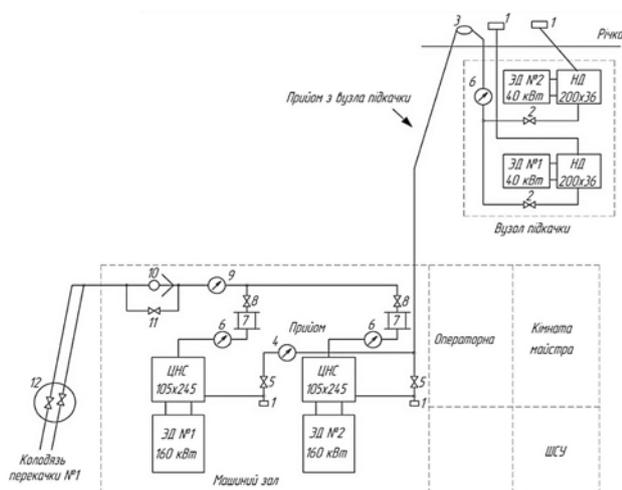


Рис. 1. Технологічна схема насосної станції

Водозбір здійснюється за допомогою насосів підкачування серії НД-200 × 36 з приводними асинхронними двигунами серії ВАО-81-2У2 потужністю 32 і 40 кВт. Всмоктувальний трубопровід насосів НД має фільтр 1, що захищає насос від забруднення. На викиді насоси НД мають засувки 2 – 40 × 100, за допомогою яких регулюється водозбір і технічний манометр 6 на викиді показує тиск, під яким перекачується вода. Ця система з насосами підкачки утворює вузол підкачування. Далі по трубопроводу через засувки на прийомі 5 – 150 × 40 вода надходить у насос ЦНС-105 × 245, який приводиться в дію асинхронним двигуном серії ВАО-315м-2У2-5 потужністю 160 кВт. З насоса ЦНС вода надходить у колодязь перекачування, а з нього до споживачів. У колодязі перекачування встановлена засувка 12 до споживачів 150 × 210. Технічний манометр 4 на прийомі показує тиск, під яким надходить вода в насос ЦНС. Лічильники СВУ-200 показують кількість

води, що надається споживачу. Манометр 9 на колекторі показує тиск у трубопроводі, під яким перекачується вода. Зворотний клапан 10 запобігає поверненню води.

Отже, на НС встановлено два насосні агрегати, які взаємно резервують один одного. Кожен агрегат має два насоси і два двигуни: насоси підкачки НД-200 × 36 з приводними асинхронними двигунами серії ВАО-81-2У2 потужністю 40 кВт і насоси ЦНС-105 × 245 з асинхронним приводним двигуном ВАО-315м-2У2-5 потужністю 160 кВт, тобто використовують 4 насоси і 4 двигуни отримують живлення від мережі.

У насосному агрегаті насоси НД і ЦНС працюють за послідовною схемою на один водовід, з якого рідина за допомогою дроселювальних органів розподіляється до споживачів. Нині регулювання продуктивності насосів здійснюється дроселюванням напірної лінії, тобто в лінію вводиться засувка, відчиняючи або причиняючи яку регулюють подання насосів. Так, вводиться додатковий опір у всмоктувальний трубопровід, що погіршує ККД двигуна і веде до надмірного споживання електроенергії.

Приймальний клапан слугує запобіганню зливу рідини з насоса назад у резервуар через використання відцентрового насоса.

Аналіз об'єкта показав низку недоліків, що погіршують його роботу: відсутність приймального клапана у всмоктувальному трубопроводі; використання в одному насосному агрегаті два насоса і два двигуни (наявність вузла підкачки); регулювання продуктивності насосів методом дроселювання напірної лінії.

Усунення визначених недоліків можливе: встановленням приймального клапана у всмоктувальному трубопроводі; використання в одному насосному агрегаті одного більш потужного насоса для забезпечення необхідного напору для відкачування рідини й одного двигуна; підвищення ефективності енергоспоживання насосів через плавну зміну швидкості обертання приводного двигуна шляхом використання ПЧ.

**Результати.** Проектована автоматизована система регулювання тиску в магістральному трубопроводі реалізується на модернізованій НС, тому розрахунок й аналіз її електричного навантаження є актуальним завданням.

Основним електричним навантаженням водонасосної станції є два насосні агрегати для перекачування прісної води, що працюють на заданий трубопровід, тому проводиться розрахунок насосів водонасосної станції з метою розробки системи регулювання тиску в трубопроводі [3; 4].

Мета досягається виконанням таких завдань:

- розрахунок та вибір альтернативного насоса;
- розрахунок потужності та вибір електродвигуна для насоса;
- на основі відповідних розрахунків порівняльний аналіз параметрів трубопроводу при регулюванні частоти обертання двигуна за допомогою перетворювача частоти та при дросельному регулюванні;
- пропозиції щодо вдосконалення системи регулювання тиску.

Першим етапом проводиться розрахунок та вибір насоса.

Насос працює цілодобово, тому годинне подання насоса  $Q$  визначиться:

$$Q = \frac{\alpha_1 \cdot Q_{м.д.}}{24} = \frac{1,02 \cdot 2345}{24} = 99,66 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1)$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт витрати води на власні потреби водопроводу, приймається рівним 1,01...1,03;  $Q_{м.д.}$  – максимальна добова витрата води,  $\text{м}^3/\text{доба}$ .

Добова витрата води визначається з графіка закачування води (рис. 2), який будується за даними журналу закачування води на водонасосній станції за два місяці поточного року: один зимовий (січень), один літній (липень).

Характеристики використовуваних насосів описують рівнянням:

$$H = H_{max} - S \cdot Q^2, \quad (2)$$

$$S = \frac{H_{max} - H_{ном}}{Q_{ном}^2}. \quad (3)$$

де  $H, H_{max}$  – напір при заданій та максимальній продуктивності насоса, м;  $S$  – коефіцієнт гідравлічного опору,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;  $Q$  – продуктивність насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Коефіцієнт гідравлічного опору насоса  $S$  визначають по координатах двох точок характеристики насоса, наприклад, точки при  $Q = 0$  і  $Q = Q_{ном}$ .

Розрахунок характеристики насоса НД-200 × 36.

Для розрахунку використовують координати:  $(H_0; Q_0) = (45; 0)$ ;  $(H_{ном}; Q_{ном}) = (36; 200)$ . Тоді коефіцієнт гідравлічного опору насоса  $S$  буде:

$$S = \frac{H_{max} - H_{ном}}{Q_{ном}^2} = \frac{45 - 36}{(200 / 3600)^2} = 2915,53 \text{ с}^2 / \text{м}^5. \quad (4)$$

Рівняння характеристики насоса НД-200 × 36 має такий вигляд:

$$H = H_{max} - 2915,53 \cdot Q^2. \quad (5)$$

Характеристика насоса НД-200 × 36 наведена на рис. 3.

Розрахунок характеристики насоса ЦНС-105 × 245.

Для розрахунку використовують координати:  $(H_0; Q_0) = (265,5; 0)$ ;  $(H_{ном}; Q_{ном}) = (245; 105)$ . Тоді коефіцієнт гідравлічного опору насоса  $S$  буде:

$$S = \frac{H_{max} - H_{ном}}{Q_{ном}^2} = \frac{265,5 - 245}{(105 / 3600)^2} = 24098 \text{ с}^2 / \text{м}^5. \quad (6)$$

Рівняння характеристики насоса ЦНС-105 × 245 має такий вигляд:

$$H = H_{max} - 24098 \cdot Q^2. \quad (7)$$

Характеристику насоса ЦНС-105 × 245 наведено на рис. 3.

Дані насоси працюють послідовно. До послідовного включення насосів вдаються за

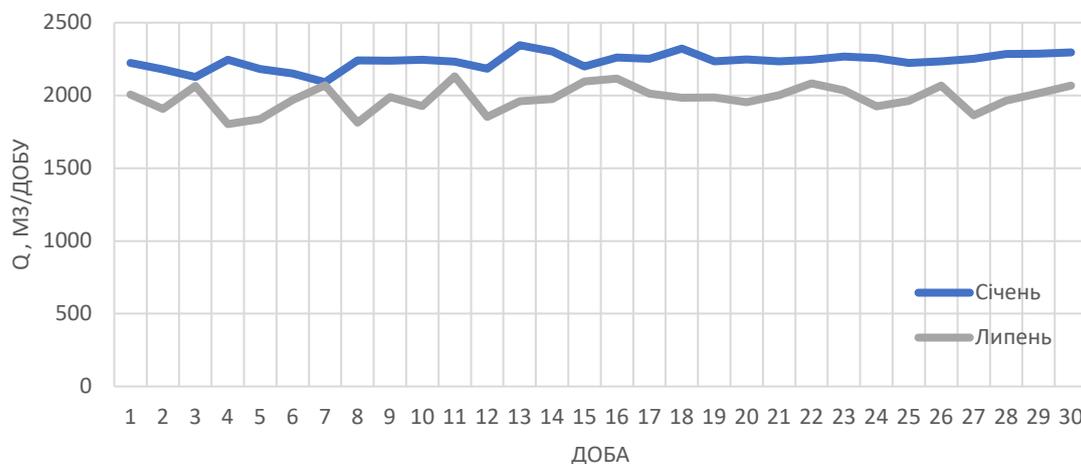


Рис. 2. Графік закачування води в різні періоди року

необхідності збільшити створюваний напір. Для отримання сумарної характеристики двох послідовно включених насосів необхідно скласти їх напори при постійному поданні, тобто підсумувати ординати характеристик насосів. Побудовану загальну характеристику насосів НД-200 × 36 і ЦНС-105 × 245 наведено на рис. 3.

Характеристиками кожного з насосів окремо будуть криві I і II, сумарною характеристикою послідовно включених насосів – крива I+II.

Збільшення напору при послідовному включенні насосів, так само як і збільшення подачі при паралельному їх включенні залежатиме від форм характеристик насоса і системи. Більший ефект від послідовного включення насосів отримаємо в тому випадку, якщо характеристики насосів системи будуть більш пологими, або у випадку, якщо їх напірні засувки будуть відкриті повністю, а цей режим відповідатиме максимальному ККД [3].

З аналізу графіків на рис. 3 видно, що робочою є точка з координатами, які відповідають значенням параметрів  $Q = 115 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $H = 282 \text{ м}$ .

Ці параметри роботи задовольняє насос ЦНС-105 × 294.

Розрахунок характеристики насоса ЦНС-105 × 294.

Для розрахунку використовують координати:  $(H_0; Q_0) = (315; 0)$ ,  $(H_{НОМ}; Q_{НОМ}) = (294; 105)$ . Тоді коефіцієнт гідравлічного опору насоса  $S$  буде:

$$S = \frac{H_{\max} - H_{НОМ}}{Q_{НОМ}^2} = \frac{315 - 294}{(105 / 3600)^2} = 24685,71 \text{ с}^2 / \text{м}^5. \quad (8)$$

Рівняння характеристика насоса ЦНС-105 × 294 має такий вигляд:

$$H = H_{\max} - 24685,71 \cdot Q^2. \quad (9)$$

Характеристику насоса ЦНС-105 × 294 наведено на рис. 3.

Так, замість послідовного включення насосів НД-200 × 36 і ЦНС-105 × 245 можна використовувати один насос типу ЦНС-105 × 294. Основні параметри насоса ЦНС-105 × 294: потужність  $P = 115 \text{ кВт}$ ; подання  $Q = 105 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $H = 294 \text{ м}$ ; синхронна частота обертання  $n_{\text{с.нас.}} = 3000 \text{ об/хв}$ .

Другий етап – розрахунок потужності й вибір електродвигуна для насоса.

Потужність приводного двигуна насоса ЦНС-105 × 294 буде:

$$P_0 \geq k \cdot P_{\text{нас.}}; \quad (10)$$

$$P_0 = k \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta} = 1,15 \frac{105 \cdot 294 \cdot 1000 \cdot 9,81}{60 \cdot 60 \cdot 0,73} = 132,52 \text{ кВт}, \quad (11)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу, для потужності 50 ... 300 кВт приймається  $k=1,15$ ;  $Q$  – подання насоса,  $\text{м}^3/\text{доба}$ ;  $H$  – напір насоса, м;  $\rho$  – щільність рідини, для води  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\eta$  – ККД насоса, %.

Потужність приводного двигуна насоса вибирається за умови, що  $P_{\text{д}} \geq 132,52 \text{ кВт}$  при тривалому режимі роботи.

Вибір двигуна по обертовальному моменту робиться за умови, що:

$$M_{\text{н.д.}} \geq M_{\text{н.нас.}}; \quad (12)$$

$$M_{\text{н.нас.}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{н.нас.}}}{n} = 9,55 \cdot \frac{132520}{3000} = 421,86 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (13)$$

де  $M_{\text{н.д.}}$  – номінальний обертаючий момент на валу двигуна, Н·м;  $M_{\text{н.нас.}}$  – номінальний

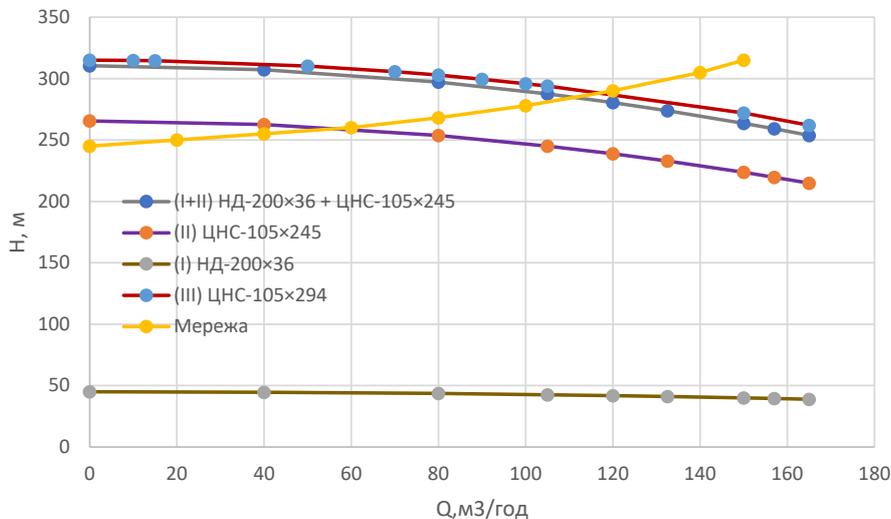


Рис. 3. Графіки залежності напору від подачі для насосів НД-200×36 (I) і ЦНС-105×245 (II), їх послідовної роботи (I+II) та ЦНС-105×294 (III)

обертальний момент на валу насоса, Н·м;  
 $P_{н.нас.}$  – номінальна потужність насоса, Вт.

Вибираючи двигуни, слід прагнути до того, щоб швидкість обертання була, за можливості, близькою до швидкості обертання механізму. Це дасть змогу застосувати безпосереднє з'єднання двигуна з механізмом і позбутися від додаткових втрат при інших видах передачі.

Синхронна частота обертання насоса  
 $n_{с.нас.} = 3000 \text{ об / хв}$ .

З огляду на вищенаведені умови, вибираємо двигун ВАО-315М-2У2-5.

Цей двигун нині використовується на водонасосній станції. Основні технічні параметри двигуна: потужність  $P_0 = 160 \text{ кВт}$ ; номінальна частота обертання  $n_n = 2960 \text{ об/хв}$ ; струм  $I = 297 \text{ А}$  при напрузі  $U = 380 \text{ В}$ .

Далі проводиться порівняльний аналіз параметрів трубопроводу при регулюванні частоти обертання двигуна за допомогою перетворювача частоти та при дросельному регулюванні.

Регулювання дроселюванням.

Споживана потужність при дроселюванні визначається за формулою:

$$P_{дрос.} = P_{min} + (P_{max} - P_{min}) \cdot \left( \frac{Q_{роб.}}{Q_{max}} \right), \quad (14)$$

де  $P_{min}$ ,  $P_{max}$  – споживана потужність при повністю закритій засувці, тобто при  $Q = 0 \text{ м}^3/\text{год}$  та повністю відкритій засувці, тобто при  $Q_{max} = 150 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $Q_{роб.} / Q_{max}$  – відносна продуктивність.

При зменшенні витрати проти нормального з'являються вторинні течії, які спотворюють головний потік і при витраті, що дорівнює нулю, поширюються по всьому робочому колу.

Споживана потужність  $P_{min}$  визначається так:

$$P_{min} = 0,3 \cdot P_{н.нас.} = 0,3 \cdot 115 = 34,5 \text{ кВт}. \quad (15)$$

Напір насоса при максимальній продуктивності:

$$H = H_{max} - 24685,71 \cdot Q^2 = 315 - 24685,71 \cdot (150 / 3600)^2 = 272,1429 \text{ м}. \quad (16)$$

Споживана потужність з урахуванням двигуна вузла підкачки (40 кВт):

$$P_{max} = \frac{Q_{max} \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta} + 40 = \frac{150 \cdot 272,1429 \cdot 1000 \cdot 9,81}{60 \cdot 60 \cdot 0,73} + 40 = 192,381 \text{ кВт}, \quad (17)$$

Регулювання швидкості двигуна за допомогою перетворювача частоти.

Споживана потужність при частотному регулюванні:

$$P_ч = P_{н.нас.} \cdot \left( \frac{Q_p}{Q_{н.нас.}} \right)^3. \quad (18)$$

За результатами розрахунків будуються залежності споживаної потужності при дроселюванні від пропускної здатності засувки та споживаної потужності при частотному регулюванні залежно від подачі насоса (рис. 4).

Аналіз результатів доводить, що регулювання за допомогою ПЧ вигідніше, ніж дроселюванням. При використанні ПЧ пуск плавний, менші пускові струми, що призводить до малого споживання електроенергії.

Останнім етапом роботи є розробка та дослідження структури системи регулювання тиску в трубопроводі [4; 5].

Виконання цього завдання є окремим дослідженням через те, що аналіз використання в таких системах ПЧ розглядається або в сталому режимі роботи, або в режимі їх пуску. При цьому не враховується той факт, що розміщення насоса в контурі автоматичного регулювання тиску змушує електропривід у перехідних режимах споживати енергію на подолання інерційного опору, пов'язаного з великими маховими моментами на валу двигуна. За поганої якості регулювання (великої коливальності й величини перерегулювання) ці втрати можуть бути значними [6; 7].

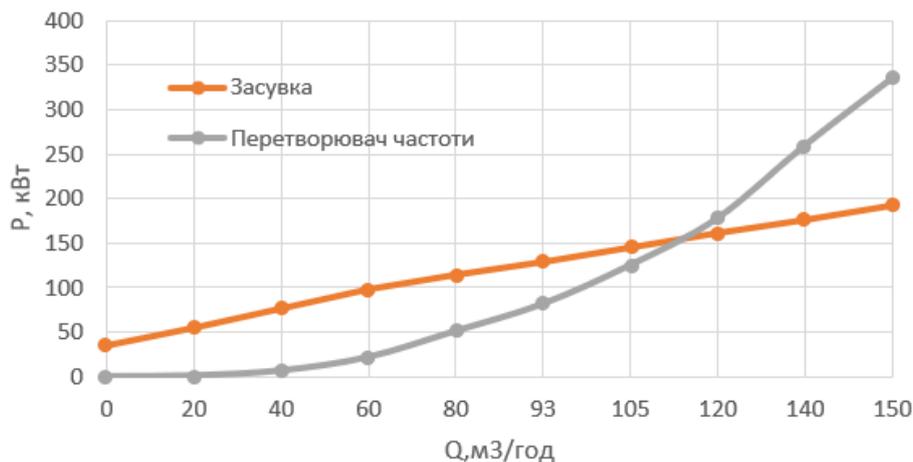


Рис. 4. Графік споживання потужності механізмом при різних способах регулювання

Також для підвищення якості регулювання системою тиску в трубопроводі окремо вирішується питання добору датчика тиску [8].

**Висновки.** Використання надійного регульованого електроприводу створює передумови для розробки сучасної технології транспорту води з плавним регулюванням робочих параметрів насосної установки без непродуктивних витрат електроенергії і з широкими можливостями підвищення точності та ефективності технологічних критеріїв роботи систем водопостачання. При цьому геометричним місцем робочих точок насосної установки стають характеристики трубопроводів, а не насосів, як

у випадку регулювання подачі насосних агрегатів з постійною частотою обертання.

Досягнення мети дасть змогу вирішити також питання плавного регулювання тиску в трубопроводі. Адже різкі зміни тиску в трубопроводі є найбільшою і найпоширенішою причиною виходу з ладу НС.

Модернізація системи регулювання тиску в магістральному трубопроводі не лише оптимізує роботу системи, а й покращить техніко-економічні показники та збільшить строк експлуатації обладнання системи. Застосування проєкту модернізації системи регулювання тиску у водопроводі зменшить збитки підприємства.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Naga Venkata Saidileep Korlapati, Faisal Khan, Quddus Noor, Saadat Mirza, Sreeram Vaddiraju. Review and analysis of pipeline leak detection methods. *Journal of Pipeline Science and Engineering*. 2022. Vol. 2. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2022.100074>.
2. Як регулювання тиску у водопроводі подовжує ресурс труб і зменшує кількість аварій. *Jooby*. URL: <https://jooby.eu/uk/blog/yak-regulyuvannya-tisku-u-vodoprovodi-podovzhuye-resurs-trub-i-zmenshuje-kilkist-avarij/> (дата звернення: 20.11.2025).
3. Орел В. І. Регулювання напору в гідравлічній системі. *Вісник НУ «Львівська політехніка». «Теплоенергетика. Інженерія довілля. Автоматизація»*. 2013. С. 281–284.
4. Соїч А. В., Бевза О. М. Електронна система керування тиском в мережі водопостачання. *Перспективні напрямки сучасної електроніки: матеріали XII науково-практичної конференції (Київ, 19–20 квітня 2018 р.)*. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 139–143.
5. Суботін О. В., Кучеренко С. А. Способи та засоби виявлення витоків води. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції (Краматорськ, 01–04 червня 2021 р.)*. Краматорськ : ДДМА, 2021. С. 129.
6. Carrie Powers. Underground Pipeline Leak Detection Methods. *Polyguard*. 2024. URL: <https://polyguard.com/blog/underground-pipeline-leak-detection-methods> (дата звернення: 20.11.2025).
7. Суботін О. В., Сус С. П., Петрухін Я. І. Аналіз виробничих заводів, що впливають на якість роботи засобів контролю та передачі інформації. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. 2025. № 4. С. 126–133. <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-16>.
8. Maroua Abdelhafidh. Hybrid mechanism for remote water Pipeline Monitoring System. *13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC): conference proceedings (June 26–30, 2017. Valencia, Spain)*. Valencia, Spain: IEEE, 2017. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2017.7986614>.

#### REFERENCES:

1. Naga Venkata Saidileep Korlapati, Faisal Khan, Quddus Noor, Saadat Mirza, Sreeram Vaddiraju (2022). Review and analysis of pipeline leak detection methods. *Journal of Pipeline Science and Engineering*.
2. Yak rehulyuvannya tysku u vodoprovodi podovzhuye resurs trub i zmenshuje kilkist avarij [How pressure regulation in a water supply system extends the service life of pipes and reduces the number of accidents]. *Jooby*. Retrieved from <https://jooby.eu/uk/blog/yak-regulyuvannya-tisku-u-vodoprovodi-podovzhuye-resurs-trub-i-zmenshuje-kilkist-avarij/> (data zvernennya: 20.11.2025) [in Ukrainian].
3. Orel, V. I. (2013). Rehulyuvannya naporu v hidravlichniy systemi [Pressure regulation in a hydraulic system]. *Visnyk NU "Lvivska politekhnika" "Teploenerhetyka. Inzheneriya dovkillya. Avtomatyzatsiya"*, 281–284 [in Ukrainian].
4. Soyich, A. V., Bevza, O. M. (2018). Elektronna sistema keruvannya tyskom v merezhi vodopostachannya [Electronic pressure control system in the water supply network]. *Perspektyvni napryamky suchasnoyi elektroniky: materialy XII-yi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* (Kyiv, 19 – 20 kvitnya 2018 r.). Kyiv : KPI im. Ihorya Sikorskoho, 139–143 [in Ukrainian].
5. Subotin, O. V., Kucherenko, S. A. (2021). Sposoby ta zasoby vyyavlennya vytokiv vody [Methods and means of detecting water leaks]. *Vazhke mashynobuduvannya. Problemy ta perspektyvy rozvytku: materialy XIX Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi* (Kramators'k, 01–04 chervnya 2021 r.). Kramators'k : DDMA, 129 [in Ukrainian].
6. Carrie Powers (2024). Underground Pipeline Leak Detection Methods. Retrieved from <https://polyguard.com/blog/underground-pipeline-leak-detection-methods>. Accessed 20 Nov 2025.
7. Subotin, O. V., Sus, S. P., & Petrukhin, Ya. I. (2025). Analiz vyrobnychkh zavod, shcho vplyvayut' na yakist' roboty zasobiv kontrolyu ta peredachi informatsiyi [Analysis of production disturbances affecting the quality of control and information transmission]. *Naukovyy Zhurnal Metinvest Politekhniky. Seriya: Tekhnichni nauky*, 4, 126–133 [in Ukrainian].
8. Maroua Abdelhafidh (2017). Hybrid mechanism for remote water Pipeline Monitoring System. *13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 17.12.2025  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 02.01.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 16.03.2026