

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Павлов А. О., інженер СК Монолит, e-mail: andriy_pavlov@me.com

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: moroz.an@ukr.net

Мірошник О. О., д.т.н., проф., e-mail: omiroshnyk@ukr.net

Пазій В.Г., аспірант, e-mail: pazziy@ukr.net

Середа А. І., к.т.н., доц., e-mail: ais66@ukr.net

Актуальність дослідження. В умовах воєнних дій в Україні насосні станції (НС) систем водопостачання є важливими об'єктами критичної інфраструктури, що забезпечують життєво важливі послуги для населення та промисловості. В умовах воєнного стану НС можуть стикатися з рядом суттєвих специфічних викликів та загроз, зокрема у питаннях забезпечення електроенергії: руйнування енергетичної інфраструктури, що може призвести до відключення насосів від електромережі; необхідність використання альтернативних джерел енергії або генераторів [1]. Найбільш перспективним альтернативним джерелом енергії є сонячні електростанції (СЕС), які можуть значно зменшити споживання електроенергії з централізованих мереж та забезпечити певну автономію систем водопостачання. Потужність СЕС для систем водопостачання залежить від об'ємів споживання води, схеми водопостачання, об'ємів резервуарів, режимів роботи насосних станцій та характеру водоспоживання.

Мета дослідження. Проведення дослідження впливу параметрів систем водопостачання на об'єми споживання електричної енергії насосними станціями з метою зменшення ними споживання електричної енергії з об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України за рахунок встановлення СЕС та визначення оптимальної потужності СЕС.

Основні матеріали досліджень. В існуючих системах водопостачання України витрати на подачу води (пов'язані з підтриманням робочого стану трубопроводів і оплату електроенергії) є головною складовою сумарних експлуатаційних витрат. У структурі собівартості чистої води, відпущеної споживачам, від 30 до 70 %, залежно від регіону і величини населеного пункту, припадає на вартість електроенергії, що витрачається на перекачування води насосними станціями [2]. Зокрема у КП «Водоканал» Мереф'янської міської ради вартість витрат на електроенергію складає 966,2 тис. грн при собівартості реалізованої продукції (води) 3232,5 тис. грн, тобто витрати на електроенергію складають 29,9 % [3] Вартість електричної енергії для підприємств постійно збільшується, так у вересні 2024 року вартість електроенергії на РДН становила 5,41 грн/кВт*год [4], а з врахуванням цін на передачу та розподіл ціна електроенергії складала в залежності від регіону біля 9,5 грн/кВт*год. Таким чином заміщення споживання об'ємів електричної енергії з ОЕС України за рахунок генерації СЕС є важливим питанням.

Для невеликих населених пунктів, як правило, використовуються артезіанські свердловини, які забезпечують високі санітарно-гігієнічні показники води. Для таких систем водопостачання характерна схема, яка складається із насосної станції (НС) 1-го підймання, резервуару чистої води, НС 2-го підймання, водонапірної башти (ВБ) та розподільної мережі (рис. 1). НС систем водопостачання повинні розраховуватися на подачу розрахункової витрати в добу найбільшого водоспоживання $Q_{d,max}$. В групових водопроводах при наявності резервуарів добового регулювання вони проектуються на пропускання середніх витрат $Q_{d,ср.} = \alpha_1 Q_{d,max}$, де $\alpha_1 = 0,83...0,77$. Режим роботи НС 1-го підняття повинні бути рівномірними протягом доби, для систем невеликої потужності такі станції можуть працювати за певними періодами часу, тобто 8, 12, 16 годин. Годинна подача насосів НС 1-го підняття визначається в залежності від максимального добового споживання та кількості годин роботи насосів $q_c = Q_{d,max}/T$.

Натиск насосів НС 1-го підняття визначається за формулою

$$H_{HC-1} = h_e + (Z - Z_0), \quad (1)$$

де h_e – втрати натиску у водоводах, м;

Z і Z_0 – відповідно відмітка максимального рівня у приймальному резервуарі та мінімального рівня води у свердловині, м.

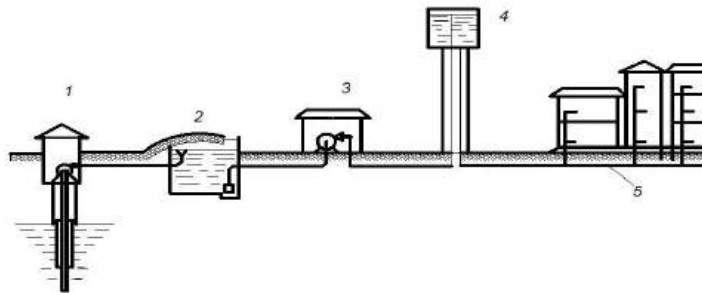


Рисунок 1 – Схема водопостачання з НС двох підіймань:

**1 – НС 1-го підіймання; 2 – резервуар чистої води; 3 – НС 2-го підіймання;
4 – водонапірна башта; 5 – розподільна мережа**

Режими роботи НС 2-го підіймання, яка живить водопровідну мережу, може бути одноступінчастим, з роботою протягом частини доби, або двоступінчастим з роботою максимального ступеня у години найбільшого водоспоживання (2-3 робочих насоси) і мінімального ступеня – в години незначного водоспоживання (1-2 насоси). Для забезпечення мінімального регульовального об'єму бака водонапірної башти необхідно щоб графіки роботи насосів були наближені до графіка водоспоживання. Годинна подача НС 2-го підіймання в добу максимального водоспоживання визначається в залежності від тривалості роботи насосів

$$q_{2,HC-2} = Q_{d,max}/T_{HC-2}.$$

Розрахунковий натиск насосів НС 2-го підіймання, при визначенні потужності споживання, визначається за формулою

$$H_{HC-2} = h_{e2} + Z_1 + Z_2, \quad (2)$$

де h_{e2} – втрати натиску у водоводах від НС-1 до водонапірної башти, м;

Z_1 і Z_2 – відповідно середні відмітки рівнів води у резервуарі чистої води та ВБ, м.

Вибір насосів НС 2-го підіймання здійснюється за максимальним напором, тобто при мінімальному рівні води у резервуарі чистої води і максимальному рівні у ВБ.

Об'єм резервуара чистої води визначається при суміщенні прийнятого режиму роботи НС 2-го підіймання та рівномірного режиму роботи НС 1-го підіймання. Наприклад, НС-І працює у рівномірному режимі. Тоді її годинна подача буде дорівнювати $100/24 = 4,17$ % від добового водоспоживання. НС-ІІ, як правило, працює у ступеневому режимі, наприклад, НС-ІІ працює за ступеневим графіком і має продуктивність: від 21:00 до 7:00 – 2,84 %, а з 7 до 21 години – 5,12 % добового водоспоживання.

У якості водонапірної башти невеликих населених пунктів використовуються башти Рожновського, об'єми бака яких може бути 25, 50 та 75 м³ [5].

В якості прикладу наведено розрахунок споживання електроенергії системою водопостачання за схемою зображеною на рис. 1 з добовим споживанням 100 м³. НС 1-го підіймання здійснює забір води з глибини 50 м і подає воду у резервуар чистої води на відстань 1000 м. Потрібний натиск насоса визначається за формулою 1. Втрати натиску залежать від діаметру трубопроводу та матеріалу з якого він виготовлений. Так економічно доцільною швидкістю руху води у напірному трубопроводі є швидкість від 1 до 2 м/с [6]. Для систем водопостачання доцільно використовувати поліетиленові труби, які мають найменший гідравлічний опір. В залежності від рекомендованої швидкості руху води у водоводі [6] проведемо розрахунок поліетиленової труби діаметром 75 мм, для якої втрати натиску на 100 м довжини трубопроводу складають 2,9 м [7]. Відповідно для трубопроводу довжиною 1 км втрати будуть становити 29 м. Тому натиск насоса повинен бути не менше 79 м.

З цими параметрами для водопостачання підходить насос ЕЦВ 6-16-80, який має подачу 16 м³/год, натиск 80 м і потужність приводного двигуна 9,5 кВт. Таким чином насос ЕЦВ 6-16-80 повинен працювати 6,25 години протягом доби. Порівнюючи характеристики насосів

ЕЦВ 6-16-80 і VSPT 400-19 фірми Vinar [8], видно, що потужність двигуна насоса VSPT 400-19 всього 5,5 кВт при тих же параметрах подачі і натиску. Таким чином краще вибрати насос VSPT 400-19, і відповідно, денне споживання електроенергії насосом VSPT 400-19 для подачі 100 м³ води буде становити 34,4 кВт·год.

При визначенні потужності СЕС для часткового покриття електричної енергії, що споживається насосами системи водопостачання, необхідно враховувати, що тривалість сонячного дня для території України, при якій можлива генерація СЕС, змінюється від 12 годин у літні місяці до 6 годин у зимові місяці, прийmemo середньорічний період генерації СЕС 9 годин, а середньодобову тривалість роботи насосів НС 1-го підймання від СЕС протягом року 6 годин. Тоді насос повинен мати подачу не менше 16,67 м³/год.

Розрахунок насосів НС 2-го підймання виконується в залежності від параметрів башти Рожновського, розглянемо ВБР-25 з об'ємом води бака 25 м³ [5]. Конструкція водонапірної вежі може виконуватися з висотою ствола 12 м і 15 м, розглянемо варіант висоти ствола 12 м. Тоді при висоті бака 5 м середня висота підймання води буде 14,5 м. При довжині трубопроводу від НС 2-го підймання до ВБР 100 м, втрати натиску будуть становити 2,9 м і необхідний натиск насоса повинен бути біля 17,4 м (формула 2). Для НС 2-го підймання широке використання мають консольні насоси, тому розглянемо варіант використання насоса КМ 50-32-125 [9], який має подачу 12,5 м³/год та натиск 20 м, потужність приводного двигуна 2,2 кВт. Таким чином для забезпечення необхідних об'ємів подачі води насос повинен працювати 8 годин і середньодобове споживання електричної енергії буде становити 17,6 кВт·год.

Висновки. Система водопостачання, яка складається із свердловини глибиною 50 м, насосної станції 1-го та 2-го підймання, водовода від НС 1-го підймання до НС 2-го підймання довжиною 1000 м, і який виготовлений із поліетиленової труби діаметром 75 мм, резервуара чистої води, водовода від НС 2-го підймання до водонапірної башти Рожновського довжиною 100 м та розподільних водопровідних мереж, і яка забезпечує добову подачу 100 м³ води споживає за добу 50,6 кВт·год. Така кількість електроенергії може бути забезпечена СЕС певної потужності, яка повинна враховувати потенціал сонячної енергії у місцевості знаходження системи водопостачання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кравчук, О., Андріященко, О., Левітін, В., Єремченко, Л., & Лаврухіна, К. (2024). Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. *Містобудування та територіальне планування*, (85), 268–276. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276>.
2. Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання / В. П. Розен, Н. В. Давиденко // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. - 2015. - № 4. - С. 79-86. URL: <http://surl.li/bwwinm>.
3. Про затвердження фінансового плану КП «ВОДОКАНАЛ» Мереф'янської міської ради на 2024 рік. URL: <http://surl.li/dfwoi>.
4. Аналіз РДН та ВДР. URL: <http://surl.li/zcltwl>.
5. Водонапірні башти Рожновського. URL: <https://sbk.ltd.ua/uk/vodonapirni-bashti.html>.
6. Орлов В.О., Зошук А.М. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання. Навч. посібник. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2005. – 252 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2249/1/622286%20zah.pdf>.
7. Як легко розрахувати напір і продуктивність насоса. URL: <https://sigma.ua/blog/stati/kak-legko-rasschitat-napor-i-proizvoditelnost-nasosa/>.
8. Вибір свердловинного насоса. URL: <http://surl.li/fjrun>.
9. Консольний насосний агрегат К 50-32-125. URL: <http://surl.li/uoxnng>.