

УДК 621-926

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-6>

ДОЦІЛЬНІСТЬ СТАНЦІЙ ПІДКАЧКИ-ПІДГОТОВКИ ВОДИ ТА СПОСІБ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Бородай Валерій Анатолійович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри електропривода

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-6788-0562

Шлапко Роман Олександрович,

аспірант кафедри електропривода

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0009-0003-1964-0219

Мета – на базі критичного аналізу наявних способів розв’язання проблем забезпечення бажаної якості послуг водопостачання і доочищення питної води, а також відомих методів енергоефективного використання насосного обладнання запропонувати оригінальний спосіб керування з простою схемною реалізацією та фінансовою доступністю в частині капітальних витрат.

Методи. Зіставлення державних будівельних норм (ДБН) із фактичними можливостями централізованих водогонів, прості логічні обчислення для обґрунтування доцільності використання станцій підкачки-підготовки питної води багатопверхових будинків, ілюстрації типового графіка водоспоживання як доказ необхідності регульованого приводу, критика сучасних методів керування асинхронних двигунів задля формулювання принципу альтернативного методу їх управління.

Результати. Доведено актуальність створення системи електропривода водогінних систем багатопверхових будинків у частині станцій підкачки-підготовки питної води, одночасно встановлено, що помпові станції підкачки повинні мати регульований привід для досягнення раціонального споживання електричної енергії і запропоновано оригінальний спосіб їх керування.

Новизна роботи полягає в обґрунтуванні основних положень та формулюванні подальших наукових завдань досліджень і попереднього напрямку для складання схемних рішень системи комплексного керування насосів підкачки, які будуть наділені енергоефективними властивостями за умови зменшення початкових капітальних вкладень.

Цінність. Результати аналізу є фундаментом подальшого розвитку систем регульованого асинхронного приводу станцій підкачки-підготовки питної води в умовах висотного багатопверхового будинка за умов суттєвого спрощення системи керування, комплексного підходу до енергоощадності та потенційної можливості зниження капітальних витрат.

Ключові слова: ДБН водопостачання, станції підкачки-підготовки води, огляд помпових установок, способи керування, функціональна схема системи керування.

Borodai Valeri, Shlapko Roman. Feasibility of water pumping and preparation stations and the method of their energy-efficient operation

Aim. On the basis of a critical analysis of existing methods of solving the problems of ensuring the proper quality of water supply and post-treatment of drinking water, as well as known methods of energy-efficient use of pumping equipment, propose an original method of management with a simple schematic implementation and financial availability in terms of capital costs.

Methods. Comparison of state building regulations (DBN) with the actual capabilities of centralized water mains, simple logical calculations to justify the feasibility of using drinking water pumping-preparation stations of high-rise buildings, illustrations of a typical water consumption schedule, which is proof of the need for an adjustable drive, criticism of modern methods of controlling asynchronous motors in order to formulate the principle of alternative method of their management.

The results. The relevance of the creation of an electric drive system for water supply systems of multi-story buildings in the part of drinking water pumping stations has been proven, at the same time it has been established that pumping stations must have an adjustable drive to achieve rational consumption of electrical energy, and an original method of their control has been proposed.

The novelty of the work consists in substantiating the main provisions and formulating further scientific tasks of research and a preliminary direction for drawing up schematic solutions of the system of integrated control of pumping pumps, which will be endowed with energy-efficient properties, provided that initial capital investments are reduced.

Value. The results of the analysis are the foundation for the further development of systems of regulated asynchronous drive of drinking water pumping-preparation stations in the conditions of a high-rise multi-story building under the conditions of significant simplification of the control system, an integrated approach to energy saving and the potential opportunity to reduce capital costs.

Key words: DBN water supply, water pumping-preparation stations, overview of pumping installations, control methods, functional scheme of the control system.

Вступ. Зростання значення міст у розвитку суспільства, яке супроводжується ростом і розвитком міських поселень, стало поштовхом до більшої потреби в будівництві житла в межах чинних територіальних громад. За умови дефіциту земельних ресурсів міст, особливо мегаполісів, питання збільшення загальної площі побудованого житла на земельних ділянках, де раніше кількість квартир була обмежена, зазвичай вирішується завдяки збільшенню числа поверхів окремої будівлі. Це, відповідно, призводить до ускладнень технічних комунікацій, зокрема системи водопостачання. Мається на увазі, що системи централізованого водопостачання для такого типу будинків не завжди спроможні забезпечити бажану якість послуг постачання води. Крім того, зношеність міської водопостачальної інфраструктури стала причиною погіршення якості самої питної води.

Ще однією проблемою водопостачання багатопверхових будинків є хаотичний попит на отримання води. Зрозуміло, що за таких обставин помпувальні станції можуть працювати з навантаженням від номінального значення до повної їх зупинки, наслідком чого стає збільшення часу роботи насосного обладнання з нераціональним споживанням електричної енергії.

Мета роботи – аналіз наявних способів розв'язання проблем забезпечення бажаної якості послуг водопостачання і доочищення питної води, які би відповідали встановленим стандартам, а також здійснення критичного аналізу відомих методів енергоефективного використання насосного обладнання та пропозиція оригінального способу керування з більш простою схемною реалізацією та фінансовою доступністю в частині капітальних витрат.

Основний зміст роботи. Відомо, що тиск водопровідних мереж житлового комунального господарства (ЖКГ) України регламентується державними будівельними нормами (далі – ДБН) В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація (Частина I. – Проектування) і (Частина II. – Будівництво)» [1]. Згідно із цими нормами встановлений рівень тиску в системах питного та протипожежного водопроводу на відмітці найбільш низько розташованих санітарно-технічних приладів повинен не перевищувати 0,45 МПа або 4,5 бар, на відмітці найвищого розташування – за паспортними вимогами приладів, а за відсутності таких даних – не менше 0,2 МПа або 2 бар та не більше 0,45 МПа або 4,5 бар на усіх відмітках споживання.

Очевидно, що тиск у системі поблизу магістральної насосної станції може становити максимально допустимий рівень, а, відповідно, на периферійних ланках розгалуженої магістралі може падати до мінімальних позначок.

Якщо вважати, що фізичне співвідношення 1 бару тиску становить 10 метрів водяного стовпа, то за

середнього магістрального тиску в 3 бари та висоти поверху будинку в 3 метри максимальний поверх, до якого можливо подавати воду, становить від 7-го до 10-го. Є очевидним, що в разі більшої кількості поверхів житлового будинку забезпечити норми ДБН В.2.5-64:2012 неможливо.

Дуже важливо вести облік тиску в трубах, аби не допускати аварійних ситуацій за його високого рівня (пориви труб та вихід із ладу регулювальної апаратури). У разі низького рівня тиску знижується ефективність помпування, і, як наслідок, погіршується якість надання послуг водопостачання. Усунення проблеми перевищеного значення тиску в магістралях досягають шляхом дроселювання, перепуску трубопроводу або, в кращому випадку, – регулювання швидкості обертання приводного двигуна насосних установок. Щодо проблеми низького тиску, то така ситуація супроводжується ускладненням постачання питної води до місця її споживання.

Для випадку мінімальних значень тиску користуються способами додаткового його підвищення. Розглянемо відомі способи підвищення тиску води [2]:

- встановлення циркуляційних насосів помірного збільшення тиску;

- використання пристроїв, які спроможні забезпечити бажані параметри під час постачання води від свердловин-джерел, які розташовані віддалено від помешкань, наприклад, накопичувальні ємності підтримки постійного нормального тиску у водопровідній системі. Зазвичай вони являють собою велику бочку, яку встановлюють на висоті. При цьому параметри тиску напряму залежать від висоти, на яку піднято ємність. Її заповнення відбувається за допомогою насоса свердловини або іншого джерела, після чого витрата води здійснюється із цієї ємності. Припустимий монтаж бочки – на рівні поверхні землі або нижче. У такому разі до розширювальної ємності приєднують насос із технічними параметрами, які спроможні забезпечити потреби споживачів;

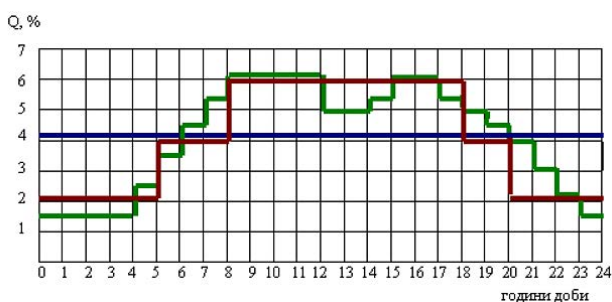
- гідропневмоакумулятори. Пристрої такого типу не змінюють параметри тиску, а захищають трубопровідну систему від гідрударів, небезпечність яких полягає в різкому збільшенні тиску, що може призвести до аварії водопровідної системи та побутових приладів, які підключено до неї.

Останнім часом якість питної води в міських водогонях значно погіршилась, тому все частіше мешканцями багатопверхових будинків, крім використання станцій підкачки води, додатково в комплексі залучають пристрої підготовки води [3]. Їх головне призначення – доочищення води по вмісту хімічних елементів та наявності біологічного забруднення.

Отже, забезпечити стандартні вимоги ДБН щодо бажаного тиску та якості питної води можливо за встановлення в умовах багатопверхових будинків станцій підкачки із системою доочищення води. Поставлене

завдання щодо підйому енергетичної ефективності насосних установок, які переважно працюють в установлених режимах, розглянемо на основі добової споживаної продуктивності води багатоповерхового будинку (рис. 1 [4]). Вигляд графіка режиму водоспоживання будинку (зелена лінія на рис. 1) наочно демонструє нестабільність роботи станції підкачки, з чого випливає, що задля покращення енергетичних властивостей приводних двигунів насосів слід використовувати регульований привід.

Натепер регулювання приводу насосів здійснюють шляхом їх живлення або на повну напругу мережі живлення, або через системи перетворення (параметричні, частотні перетворювачі). Не має сумніву, що нерегульовані системи приводу з погляду енергоефективності малоцікаві, а от щодо регульованих систем слід сказати, що їх використання є найбільш перспективним [5–8].



- режим роботи насоса № 1;
- режим водоспоживання;
- режим роботи насоса № 2

Рис. 1. Стандартний графік водоспоживання багатоповерхового будинку

Аналіз наявних систем параметричного живлення асинхронних двигунів (АД), реалізованих на керованих вентилях, демонструє низьке значення коефіцієнта потужності за одночасного незначного регулювання швидкості. Можливо створення системи параметричного управління з використанням широтно-імпульсного способу керування, що дасть змогу підвищити $\cos(\varphi)$, але в цьому випадку вплив на швидкість для систем підкачки залишається незмінним. Кращий результат дає спосіб частотного регулювання, який забезпечує раціональне використання електрики, але одночасно має значну початкову капітальну вартість, що обмежує їх використання у сфері ЖКГ.

Авторами публікації запропоновано скористатися комплексним способом управління насосами підкачки [8], який дозволяє: здійснювати функцію плавного пуску; реалізує режим, номінальний у межах навантаження від 1 до 0,6 в.о. із плавним регулюванням напруги протягом указанного інтервалу навантажень,

користуючись принципом подачі в двигун такої кількості енергії, якої достатньо для подолання поточного навантаження; відпрацювання режиму, ефективного за зменшення навантаження менше 0,6 в.о. і зниження напруги і частоти мережі живлення вдвічі у порівнянні з номіналом та зупинки системи в разі зменшення навантаження менше 0,3 в.о. У запропонованій системі комплексність підходу також передбачає досягнення ефекту економії на енергетичному каналі завдяки локальній системі компенсації реактивної потужності, на ланці перетворення, де задіяно ШІМ регулювання напруги і зміни частоти шляхом пропуску кожного другого періоду напруги живлення і, нарешті, шляхом регулювання швидкості обертання на ланці робочої машини. За попередніми підрахунками, капітальні вкладення на систему, що пропонується, можливо орієнтовно зменшити до 30%.

Перспектива оригінальної системи водопостачання багатоповерхових будинків передбачає орієнтування за потужністю, ККД, продуктивністю та швидкістю обертання двигунів стандартних насосних установок, які можуть експлуатуватися натепер (рис. 2, [9; 10]). Дані рис. 2 демонструють зміну потужності в межах від 2,2 до 37 кВт. Планом досліджень передбачено отримання ряду залежностей для формування поліномів коефіцієнтів нелінійного регулятора. Отримана залежність дасть універсальне математичне співвідношення вибору коефіцієнтів за вхідними параметрами потужності та швидкості обертання.

Висновки:

- Встановлено, що тиску магістральних pomp водогонів недостатньо, аби забезпечити задовільне водопостачання багатоповерхових будинків;
- Перевищення магістрального тиску може призвести до аварійності в системі водопостачання, а відомі способи стабілізації тиску цілком задовольняють вимоги щодо розв'язання такої проблеми;
- За низьких значень тиску потрібні способи додаткового його підвищення, з яких найчастіше використовуються системи підкачки або із пристроями зміни параметрів, або з регулюванням швидкості привідного двигуна;
- У разі залучення систем підкачки в комплексі використовують пристрої підготовки води, головною задачею яких є доочищення води за хімічним та біологічним напрямками. При цьому слід брати до уваги додаткове навантаження привідного двигуна за рахунок системи підготовки води;
- Аналіз добового водоспоживання багатоповерхового будинку говорить про те, що для отримання енергоощадності системи слід використовувати регульований привід;
- Наявні системи регульованого приводу не повністю задовольняють вимогам, які ставляться від ЖКГ;

Марка насоса	Q, м³/год	H, м	P, кВт	N, об/хвил	ККД, %	Кавит. запас, м	Витік л/год	m насоса, кг	m агрегата, кг	Ø роб. колеса, м
СМ 80-50-200/2	50	50	18,5	3000	58	6	10	88	260	195
СМ 80-50-200/2а	45	42	15		56				210	180
СМ 80-50-200/2б	40	35	11		56				200	165
СМ 80-50-200/4	25	12,5	4	1500	58	155			195	
СМ 80-50-200/4а	22	10,5	3		57	145			180	
СМ 80-50-200/4б	20	9	2,2		59	145			165	
2 СМ 80-50-200/2	50	50	15	3000	59	5		92	200	205
2СМ80-50-200/2а	45	43	11		58				195	185
2СМ80-50-200/2б	40	35	11		58				195	165
2СМ 80-50-200/4	25	12,5	3	1500	58			185	205	
2СМ80-50-200/4а	22	10,5	2,2				145	185		
2СМ80-50-200/4б	20	9	1,5				145	165		

а

Марка насосу	Q, м³/год	H, м	P, кВт	N, об/хвил	ККД, %	Кавит. запас, м	Витік л/год	m насоса, кг	m агрегата, кг	Ø роб. колеса, м
СМ 100-65-200/2	100	52	37	3000	61	5	10	96	387	208
СМ 100-65-200/2а	86	42	30		58				295	188
СМ 100-65-200/2б	75	32	22		60				270	173
СМ 100-65-200/4	50	12,5	5,5	1500	55	3			180	208
СМ 100-65-200/4а	43	10,5	4		58				146	188
СМ 100-65-200/4б	38	8	3		57				146	173
2 СМ 100-65-200/2	100	50	30	3000	69	5		107	340	214
2СМ100-65-200/2а	86	42	22		68				320	195
2СМ100-65-200/2б	75	32	18,5		68				298	175
2СМ 100-65-200/4	50	12,5	4	1500	66	3			185	214
2СМ100-65-200/4а	43	10,5	3		65		180		195	
2СМ100-65-200/4б	38	8	2,2		65		175		175	

б

а) – СМ 80-50-200/2, СМ 80-50-200/4, 2СМ80-50-200;

б) – СМ 100-65-200/2, СМ 100-65-200/4, 2СМ100-65-200

Рис. 2. Порівняльні технічні характеристики насосів

– На думку авторів, найбільш перспективним є комплексний підхід підвищення енергоефективності, який культивує ощадність на всіх без винятку ланках електромеханічної насосної системи;

– Усвідомлено та сформульовано план і задачі для подальших досліджень отримання універсальних залежностей визначення коефіцієнтів нелінійних регуляторів для розглянутого інтервалу потужності двигунів, які традиційно використовує ЖКГ.

ЛІТЕРАТУРА:

- ДБН В.2.5-64:2012 : Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зі Зміною № 1. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019 URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29848
- Тиск у водопроводі – який він повинен бути. URL: <https://armax.ua/blog/tysk-vody-u-vodoprovodi-yakum-vin-maye-butyl/>
- Все про системи очищення води. URL: <https://softis.ua/blog/ochishnennya-vodi/vse-o-sistemah-ochistki-vody/>
- Спеціальне водопостачання. URL: <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/voda2/2739.html>
- Бородай В.А. Спосіб синтезу регулятора енергоефективного управління асинхронним приводом механізмів без прямої стабілізації швидкості / В.А. Бородай та ін. *Електротехніка та електроенергетика*. 2019. № 3 С. 16–23. DOI: 10.15588/1607-6761-2019-3-2
- Параметричне керування ефективністю асинхронного приводу засобами перетворювача з підвищеним коефіцієнтом потужності / В.А. Бородай та ін. *Електротехніка та електроенергетика*. 2020. № 2 С. 8–16. DOI: 10.15588/1607-6761-2020-2-1

7. Автомат керування ефективністю асинхронного привода з функцією плавного пуску / О.Р. Ковальов та ін. VI міжнародна науково-технічна конференція «Smart-технології в енергетиці та електроніці 2021– Київ «КПІ». – 15–21 серпня. 2021 С. 235881-1 – 235881-7 ; Microsyst Electron Acoust, 2021, vol. 26, no. 2 DOI: 10.20535/2523-4455. mea.235881.

8. UA 151636 U Україна, МПК (2022) H02K 19/36. (Патент на корисну модель) Спосіб керування асинхронної машини / В.А. Бородай, О.Ю. Нестерова ; заявник і патентовласник НТУ «Дніпровська політехніка» ; заяв. № u 2021 06874 від 02 грудня 2021 р. ; опубл. 25.08.2022, бюл. № 34.

9. Характеристики фікальних попмп. URL: <https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-stichno-masni-sm-2sm/sm80-50-200-2/>

10. Характеристики фікальних попмп. URL: <https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-stichno-masni-sm-2sm/nasos-sm100-65-200-2-2sm100-65-200-2/>

REFERENCES:

1. DBN V.2.5-64:2012(2019). Vnutrishnii vodoprovod ta kanalizatsiia. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. Zi Zminoiu № 1. [Internal water supply and sewerage. Part I. Design. Part II. Construction. With Change No. 1]. *DBN V.2.5-64:2012. Kyiv*: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. Retrieved from: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29848 [in Ukrainian].

2. Pressure in the water supply – what should it be. [Tysk vody u vodoprovodi – yakym vin maie buty]. Retrieved from: <https://armax.ua/blog/tysk-vody-u-vodoprovodi-yakym-vin-maye-buty/> Armax.ua [in Ukrainian].

3. Vse pro systemy ochyshchennia vody. [All about water purification systems]. Retrieved from: <https://softis.ua/blog/ochishennya-vodi/vse-o-sistemah-ochistki-vody/> [in Ukrainian].

4. Spetsialne vodopostachannia. [Special water supply]. Retrieved from: <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/voda2/2739.html> [in Ukrainian].

5. Borodai, V. A., Borovyk, R. O., & Nesterova, O. Yu. (2019). Sposib syntezy reguljatora energoefektyvnogo upravlinnja asynhronnym pryvodom mehanizmiv bez prjamoj stabilizacii shvydkosti [The method of synthesis of the regulator of energy-efficient control of the asynchronous drive of mechanisms without direct speed stabilization]. *Electrical engineering and electric power*, 3. Z.: National University “Zaporizhzhia Polytechnic”. 16–23 [in Ukrainian].

6. Borodai, V. A., Kovalev, O. R., & Nesterova, O. Yu. (2020). Parametrychne keruvannja efektyvnistju asynhronnogo pryvodu zasobamy peretvorjuvacha z pidvyshhenym koeficijentom potuzhnosti [Parametric control of the efficiency of an asynchronous drive by means of a converter with an increased power factor]. *Electrical engineering and electric power*, No. 23. Z.: National University “Zaporizhzhia Polytechnic”. 8–16 [in Ukrainian].

7. Kovalev, O. R., Nesterova, O. Yu., & Borodai, V. A. (2021). Avtomat keruvannja efektyvnistju asynhronnogo pryvoda z funkcijeju plavnogo pusku [Automatic control of the efficiency of an asynchronous drive with a soft start function]. *VI international scientific and technical conference “SMART TECHNOLOGIES IN ENERGY AND ELECTRONICS”, 2021*. Vol. 26, 2. K.: “KPI”. 235881-1 – 235881-7. [in Ukrainian].

8. UA 151636 U Ukraine, IPC (2022). H02K 19/36. (Patent for a useful model) Method of controlling an asynchronous machine V.A. Borodai, O. Yu. Nesterova; applicant and patent holder of Dniprovskia Polytechnic National Technical University; Application No. u 2021 06874 dated December 2, 2021; published Bull No. 34 dated 08/25/2022 [in Ukrainian].

9. Nasos CM 80-50-200. [Pump CM 80-50-200]. Retrieved from: <https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-stichno-masni-sm-2sm/sm80-50-200-2/> [in Ukrainian].

10. Kharakterystyky fizychnyh nasosiv. [Characteristics of physical pumps]. Retrieved from: <https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-stichno-masni-sm-2sm/nasos-sm100-65-200-2-2sm100-65-200-2/> [in Ukrainian].