

ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ

УДК 628.157

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ КОМПЛЕКТУЮЧИХ НАСОСІВ ДЛЯ ПОДАЧІ ВОДИ У ВОДОПРОВІДНУ МЕРЕЖУ НА СТАДІЯХ ПРОЕКТУВАННЯ І РЕКОНСТРУКЦІЇ

Д. Р. Котеленець

студент 4 курсу, група ВіВ-41, навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Науковий керівник – к.т.н., доцент В. П. Косінов

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

В науковій статті висвітлено результати дослідження та порівняльних розрахунків з вибору марки та параметрів технологічних насосів. Запропоновано методику вибору оптимального комплексу для насосної станції, що подає воду у водопровідну мережу. Вона включає різне число однотипних робочих насосних агрегатів на основі критерію мінімальних витрат електроенергії на водоподачу. Це дозволяє забезпечити надійну і енергоощадну роботу насосної станції при проектуванні нових і при реконструкції діючих систем подачі та розподілу води.

Ключові слова: система подачі та розподілу води, насосна станція водопостачання, насосний агрегат, комплект робочих насосів, мінімальна витрачена потужність, комплектуючий електродвигун насоса, потужність електродвигуна, режим роботи насосів.

В научной статье отражены результаты исследования и сравнительных расчетов по выбору марки и параметров технологических насосов. Предложена методика выбора оптимального комплекта для насосной станции, которая подает воду в водопроводную сеть. Она включает различное число однотипных рабочих насосных агрегатов на основе критерия минимальных затрат электроэнергии на водоподачу. Это позволяет обеспечивать надежную и энергосберегающую работу насосной станции при проектировании новых и при реконструкции действующих систем подачи и распределения воды.

Ключевые слова: система подачи и распределения воды, насосная станция водоснабжения, насосный агрегат, комплект рабочих насосов, минимальная затраченная мощность, комплектный электродвигатель насоса, мощность электродвигателя, режим работы насосов.

In the paper results of the research comparative calculations on the choice of brand and parameters of technological pumps are performed. Method of choosing an optimal set for a pumping station, which supplies water to the water supply network was proposed. It includes a different number of identical working pumping units based on the criterion of minimum electricity consumption for water supply. This method provides reliable and energy-saving works of the pumping station during the design of new ones and during the reconstruction different systems of systems of supply and distribution of water.

Keywords: systems of supply and distribution of water, pumping station of water supply, pumping, minimum power consumption, component of pump, power of electric motor, operating of pumps.

Враховуючи що основні технологічні насоси забезпечують надійну безперебійну роботу насосної станції, то важливим чинником її економічної роботи в цілому є витрати: з одного боку, одноразові капітальні затрати на спорудження і обладнання насосної станції, а з другого – річні експлуатаційні витрати коштів на витрачену насосами активну

електроенергію, однак на сьогодні немає чіткої методики вибору як марки насосних агрегатів, так і їх оптимального числа достатньо точними числовими методами.

Фахівці пропонують кілька можливих способів оптимізації подачі та напору насосними станціями для перекачування води, які слід застосовувати при переході режиму роботи насосної станції з одного ступеня на інший. Всі ці методи можна звести до трьох груп: дроселювання шляхом регулювання витрати та напору; за допомогою засувки на виході із одного насоса (або їх групи); регулювання частоти обертання робочого колеса насоса; зміна геометричних параметрів робочого колеса шляхом його обточування. Однак застосування їх на практиці показало, що вони не завжди є ефективними щодо енергозатрат на забезпечення роботи насосів, тому що призводять до переходу «робочої точки» роботи насоса за межі «робочої зони» характеристик Q-N та Q-N. і в області низьких значень ККД.

Методи математичного моделювання процесів дроселювання, обточки і частотного регулювання та аналіз їх впливу на зміни паспортних характеристик як насосів (Q-N; Q-N; $Q-\eta$), так і комплектного електродвигуна пропонувалися у відомих роботах у цій галузі Залуцького Е.В., Петрухно А.І. [2], Кареліна В.Я., Мінаєва А.В. [3] Хоружого П.Д. [5], Ткачука О.А. [6] та інших. Косінов В.П. [7; 8] отримав аналітичну залежність, яка дає змогу на практиці для заданого рівня надійності водоводу, вираженого через коефіцієнт його готовності $K_{г.в.}$, враховуючи паспортні характеристики кожного насосного агрегату, встановлювати їхню оптимальну кількість (n_p^{opt}), що забезпечить необхідний рівень надійності подачі води по водоводу відповідно до установленої категорії надійності СПРВ.

Таким чином, на сьогодні відсутня чітка методика вибору марки насосів, що базувалася б на числових методах.

Задача даного дослідження – встановити теоретичні залежності, що дозволяють моделювати паспортні характеристики як окремих насосів, так і їх групи, в складі якої вони працюють за паралельною схемою. Встановити впливові фактори, що забезпечать прогнозування змінюваності вхідних до моделі параметрів та запропонувати практичне застосування моделей. Крім того, слід виконати порівняльні розрахунки з вибору марки та параметрів енергетичних характеристик різного числа насосних агрегатів.

Відомо, що у системах водопостачання найбільшого поширення набули відцентрові насоси. В практиці проектування нових та при експлуатації існуючих насосних станцій водопостачання, які безпосередньо подають воду у водопровідні мережі, встановлюють, як правило, насосні агрегати: типу Д, ЦНС, К, КМ (виробництва країн СНД) та насоси іноземного виробництва (як GRUDNFOS, CLAIPEDA, WILLO) та інших виробників. Для них характерним режимом є паралельна робота декількох однотипних насосів. При підборі відцентрових насосів для конкретних умов проектування та реконструкції СПРВ нами запропоновано враховувати, що величина річних витрат електроенергії ($A_{ел.}$) на водоподачу є одним із основних критеріїв оптимальності підбраного комплексу основного насосного обладнання насосної станції, що безпосередньо забезпечує подачу води в міську мережу водопостачання. Запропоновано також удосконалений аналітичний вираз для визначення величини $A_{ел.}$:

$$A_{ел.} = 1,1 \cdot 0,85 \cdot 365 \cdot \left(\frac{P_{заяв.}}{\eta_{ед.}} \right) \cdot t, \quad (2)$$

де $P_{заяв.}$ – сумарна заявлена (встановлена) потужність високовольтних двигунів (трансформаторів для низьковольтних двигунів); $\eta_{ед.}$ – ККД заявлених електродвигунів; t – тривалість роботи основного обладнання за рік.

Таким чином, з метою зменшення річних витрат активної електроенергії на насосних станціях, що безпосередньо живлять водопровідну мережу (водоводи), і щорічних витрат

коштів на придбання електроенергії, необхідно всебічно забезпечити виконання $A_{en} \rightarrow \min$. Рекомендовано виконання вищенаведеної умови досягати впровадженням ряду технічних і організаційних заходів: встановленням мінімальної кількості насосних агрегатів, що укомплектовані високовольтними електродвигунами ($m_p \rightarrow \min$); влаштуванням мінімальної кількості живильних насосних станцій, або груп насосів, котрі беруть участь у максимумі енергосистеми ($n_{HC} \rightarrow \min$); встановленням взаємозамінних насосів в межах однієї групи, які до того ж мають найвищі значення ККД ($\eta_{ed.} \rightarrow \max$).

У контексті ряду запропонованих вище технічних заходів задача вибору марки та кількості робочих насосів набуває чи не першочергового значення. Таким чином, пропонується вибирати необхідний комплект за умови мінімальних річних витрат активної електроенергії (A_{en}). При виборі оптимального комплекту насосних агрегатів слід мати на увазі певні обмеження. А саме: приймати до проектування комплекти насосних агрегатів, які включають однотипні насосні агрегати, а також кількість робочих насосів, що можуть бути включені до одного комплекту, не повинна перевищувати число встановлених і одночасно включених у паралельну схему.

Для практичного застосування методики підбору оптимального комплекту технологічного обладнання насосної станції II підняття, що безпосередньо подає воду у водопровідну мережу міста, яке за класифікацією [1, п. 6.1.1, табл. 1, Примітка 4] віднесено до малих населених пунктів, було піддано дослідженню насосну станцію із загальною годинною продуктивністю насосів $Q_{HC.год.макс.} = 600 \text{ м}^3/\text{год.}$; розрахунковий (необхідний) напір на виході з насосної станції $H_{HC.p} = 65 \text{ м.в.ст.}$ ($P_m = 0,65 \text{ МПа}$), які відповідають режимній точці сумісної роботи насосної станції і трубопровідної системи «водоводи-водопровідна мережа».

Як практичне завдання було запропоновано обладнати насосну станцію основними технологічними насосними агрегатами у кількості не більше $n_{роб.} = 6$. При цьому затрати активної електроенергії, що обліковуються лічильником, становитимуть мінімальне значення протягом року ($A_{en} \rightarrow \min$). При виборі комплекту основного насосного обладнання керувалися вимогами оптимального енергоспоживання насосних агрегатів при найвищих значення ККД насосних агрегатів, режим роботи насосів повинен обмежуватись «робочою зоною» характеристики $Q - H$.

Перший варіант вибору. Підбір насосів за їх паспортними характеристиками, що запропоновані заводами-виробниками насосів. Підбір насосів виконується «вручну» і тільки для насосів вітчизняного виробництва.

Таким чином, відповідно до критеріїв оптимізації, що були встановлені попередньо, обрано комплект робочих насосів для марок вітчизняного виробництва: один робочий насос марки Д630-90 (див. табл. 1).

Таблиця 1

Техніко-експлуатаційні характеристики насосів для вибору оптимального комплекту за першим варіантом

Кількість агрегатів	Найменування насоса	Подача, м ³ /год	Напір, м	Енергія, кВт*год/рік	Енергія за життєвий цикл, кВт*год	Вартість енергії за життєвий цикл, тис. грн	Вартість агрегатів, тис. грн	Загальна вартість за життєвий цикл, тис. грн	Приведена вартість, тис. грн/рік
1	Д 630-90	600	77,85	229920	2299200	5012,3	225,4	5237,7	523,8
2	Д 500-65	600	73,89	239826	2398264	5228,2	288,7	5517,0	551,7
3	Д 320-70	600	80,66	244791	2447906	5336,4	225,3	5561,7	556,2

продовження табл. 1

4	Д 200-90	600	70,7	242194	2421937	5279,8	254,4	5534,2	553,4
6	К 90/85	600	72,2	247661	2476608	5399,0	204,2	5603,2	560,3

Другий варіант вибору. Із застосуванням стандартного програмного забезпечення для автоматичного вибору комплексу обладнання (застосовується для імпортованих насосів марки Grundfos) [9]. Для другого варіанту вибору насосного обладнання результат пошуку показав, що слід рекомендувати для вказаних умов роботи такі комплекти насосних агрегатів:

Відповідно до критеріїв оптимізації, які були встановлені попередньо, обрано комплект робочих насосів (імпортованого виробництва фірми «GRUNDFOS»): два робочих насоса марки NB 100-250/233 EUP (див. табл. 2).

Таблиця 2

Техніко-експлуатаційні характеристики насосів для вибору
оптимального комплексу за другим варіантом

Кількість агрегатів	Найменування насоса	Подача, м ³ /год	Напір, м	Енергія, кВт*год/рік	Енергія за життєвий цикл, кВт*год	Вартість енергії за життєвий цикл, тис. грн	Вартість агрегату, тис. грн	Загальна вартість за життєвий цикл, тис. грн	Приведена вартість, тис. грн/рік
1	NB 200-450/451	600	65,02	259670	2596700	5660,8	620,1	6280,9	628,1
2	NB 100-250/233 EUP	600	65,03	192200	1922000	4190,0	774,0	4963,9	496,4
3	NBG 125-80-250/229	600	65,01	188110	1881100	4100,8	1439,1	5539,9	554,0
4	CR 150-5-2	600	65,03	174080	1740800	3794,9	2386,4	6181,3	618,1

До складу основних енергетичних характеристик насосів слід віднести річні витрати активної електроенергії, що повинна приймати мінімальне числове значення ($A_{en} \rightarrow \min$).

Рекомендувати при проектуванні нових та реконструкції діючих насосних станцій встановлювати насоси, що працюють у паралельній схемі (при умові рівного напору, що розвивають всі агрегати однієї групи), а також визнати доцільним обладнувати насосні станції однотипними насосами (однієї марки), або такими, що близькі одне одному за величиною розвиваємо ними напору в робочій точці.

Доцільно при підборі комплексу обладнання насосів застосовувати програмні комплекси автоматичного визначення затрат електроенергії.

- ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 20014-01-01]. Київ : Мін-во регіон. розвитку, будівн-ва та ЖКГ, 2013. 283 с. (Державні будівельні норми України).
- Залуцкий Э. В., Петрухно А. И. Насосные станции : курсовое проектирование. К. : Вища школа, Головне вид-во, 1987. 167 с.
- Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1986. 320 с.
- Тітов Ю. П., Яковенко М. М. Насосні станції водопостачання і водовідведення : навчально-методичний посібник до практичних занять, виконання курсових і дипломних проектів (для студентів 3-5 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності водопостачання і водовідведення 7.092601). Харків, 2004. 203 с.
- Хоружий П. Д. Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений. Львов : Вища школа, изд-во при Львов. ун-те, 1983. 52 с.
- Ткачук О. А. Удосконалення систем подачі та розподілу води населених пунктів : монографія. Рівне : НУВГП, 2008. 301 с.
- Косінов В. П. Вдосконалення водопровідних мереж з урахуванням мінливості критеріїв надійності та економічності в процесі експлуатації: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Нац. ун-т водного господарства та природокористування (НУВГП). Рівне, 2005. 229 с.
- Косінов В. П. Встановлення оптимального числа робочих насосів для забезпечення експлуатаційної надійності системи «Насосна станція – водовід» при умові аварії на водоводі. *Гідротехніка : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2014. Вип. 1 (1). С. 98–104.
- Каталог насосів: URL: <http://fairway.com.ua/src/frontend/ckeditor/elfinder/files/katalog%20sahgidromash.pdf> (дата звернення: 10.11.2018).