

ПРО ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПРОВОДУ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ

*В.С. Бойко**, д-р техн. наук, професор;

*М.І. Сотник***, канд. техн. наук, доцент;

*Л.В. Гапич***, аспірант,

*Національний технічний університет України «КПІ»; м. Київ;

**Сумський державний університет, м. Суми

У даній роботі проведено аналіз графіка водоспоживання мережею та розглянуто послідовність проектування технологічного процесу роботи насосної станції на мережу з урахуванням раціоналізації енерговитрат насосними агрегатами та стабілізації тиску. Запропоновано використання декількох насосних агрегатів при паралельній їх роботі на мережу з розрахунком кількості можливих включень-виключень насосів в аналізований період.

Ключові слова: енергоефективність, насосна станція, водоспоживання, водопостачання, добовий графік водоспоживання, насосний агрегат, напірні та енергетичні характеристики, паралельна робота насосних агрегатів, енергоємність.

В данной работе проведен анализ графика водопотребления сетью и рассмотрена последовательность проектирования технологического процесса работы насосной станции на сеть с учётом рационализации энергозатрат насосными агрегатами и стабилизации давления. Предложено использование нескольких насосных агрегатов при их параллельной работе на сеть с расчётом количества возможных включений-выключений насосов в анализируемый период.

Ключевые слова: энергоэффективность, насосная станция, водопотребление, водоснабжение, суточный график водопотребления, насосный агрегат, напорные и энергетические характеристики, параллельная работа насосных агрегатов, энергоёмность.

ВСТУП

Підвищення енергоефективності споживання ПЕР, впровадження енергозберігаючих технологій є одним із напрямків діяльності, який кардинально впливає на результати модернізації господарського комплексу України, її житлово-комунального господарства.

Зважаючи на велику частку енергоносіїв, що закладена у тарифи на тепло- та водопостачання, раціоналізація витрат у сфері ЖКГ у першу чергу залежить від продуктивного використання енергії у системах водозабезпечення.

Останніми роками ведеться багато розмов навколо так званих «енергоефективних насосів». Пропонується заміна старого насосного обладнання на нове, як вважається, більш «енергоефективне». Однак дуже часто за межами таких пропозицій залишаються питання ефективного використання насосного обладнання. При проектуванні насосне обладнання розраховується на роботу у робочій точці, яка, крім того, характеризується найбільшим ККД. Рекомендованим діапазоном роботи насоса є відрізок характеристики Q-H, що відповідає зміні ККД у межах 5% від максимального. Згідно з цим правилом проводиться і підбір електродвигунів агрегатів.

Однак аналіз використання у системах водоподачі насосних агрегатів показує, що параметри витрати системи дуже часто не відповідають рекомендованим діапазнам роботи насосного обладнання. Фактичні робочі діапазони насосів дуже часто знаходяться у зоні знижених значень ККД, завищених напорів, що створюють невиправдано високі тиски у

мережах, що негативно впливає на раціональне енерговикористання. Така ситуація викликана недостатнім аналізом можливих умов роботи насосного обладнання на мережу змінної витрати.

ПОСТАВЛЕННЯ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Завданням даного дослідження є аналіз організації роботи насосної станції на мережу зі змінною витратою та стабілізацією за тиском так, щоб у будь-який проміжок часу питоме споживання електроенергії насосними агрегатами було величиною постійною та наближалось до його мінімально можливого значення за умов даного технологічного процесу подачі води.

РЕЗУЛЬТАТИ

Витрата води у системах водоспоживання функціонально залежить від потреб споживачів. Потреби споживачів, груп споживачів можуть бути у заданому періоді часу випадковими або підкорятися алгоритму деякого технологічного процесу. Тому їх можна описати графіками водоспоживання за визначений проміжок часу (годину, добу, робочу зміну та ін.).

У системах водопостачання здебільшого оперують добовими графіками водоспоживання (водопостачання).

Залежно від режиму роботи споживачів графік добового водоспоживання може визначатися як сума графіків водоспоживання споживачами.

Споживачі можуть споживати воду у постійному незмінному режимі. Тоді графік функції споживання $Q(t)$ буде мати вигляд прямої лінії, паралельної осі абсцис (t) у декартовій системі координат. При цьому у сумарній функції добового водоспоживання такий графік буде впливати на середнє значення Q водоподачі (рис.1).

Споживачі у системі можуть споживати воду випадково як з точки зору періоду споживання, так і з точки зору протяжності такого періоду. При цьому об'єм споживання (миттєвий) може бути постійним і графік споживання такого споживача зображено на рис.2. Такі споживачі здебільшого впливають на нерівномірність споживання води системою і формують «піки» та «провали» водопостачання впродовж зазначеного періоду. До таких споживачів можна віднести насосні станції систем підживлення гідромереж та інші.

Водоспоживання технологічними лініями підприємств може характеризуватися постійним споживанням у період деякого проміжку часу, а сумарне водоспоживання такого підприємства може характеризуватися ступінчастою зміною водоспоживання впродовж доби. Тому графік водоспоживання може мати вигляд, зображений на рис.3, де Q – об'єм споживання води однією технологічною лінією, а зазначені споживачі можуть впливати на формування об'єму середньодобового споживання та прогнозованих збурень графіка водоспоживання загальною системою водоподачі.

Водоспоживання окремих побутових споживачів є випадковим як з точки зору періоду водоспоживання, так і з точки зору його протяжності, а також кількісних показників об'єму водоспоживання за одиницю часу. Графік водоспоживання таких споживачів наведено на рис.4.

Виходячи з цього дуже важко прогнозувати фактичний графік водоспоживання системою водопостачання міста. Однак, маючи інформацію про географічне розташування підприємств, їх технологію та графіки водоспоживання за добу, режим роботи працівників підприємств, знаючи райони помешкань людей, що сприймають режим роботи підприємств та закладів, можна формувати прогнозовані режими та баланси водоподачі (водоспоживання).

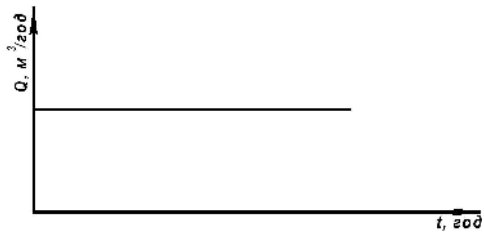


Рисунок 1 – Приклад графіка споживання води у постійному та незмінному режимі

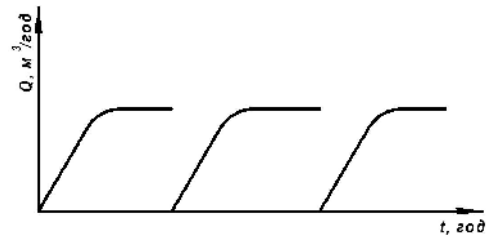


Рисунок 2 – Приклад графіка водоспоживання у випадковому режимі

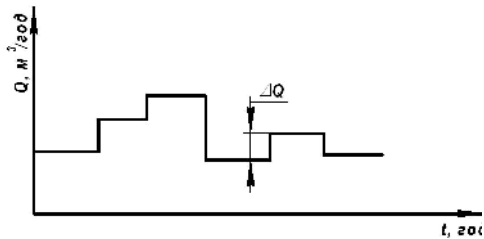


Рисунок 3 – Приклад графіка сумарного водоспоживання підприємства



Рисунок 4 – Приклад графіка водоспоживання окремих побутових споживачів

Графіки сумарного водоспоживання є інтегральною функцією потреб життєдіяльності людей і залежать від об'єму водоспоживання групою споживачів, до яких можуть входити:

- промислові підприємства та їх працівники, що впливають на формування балансу водоспоживання у часи роботи підприємства;
- населення населеного пункту у робочий та позаробочий час;
- інші установи населеного пункту.

Характер та баланс водоспоживання у системі водозабезпечення залежать від кількості споживачів у групі, а також від сумарного графіка їх водоспоживання [1].

Якщо розглядати графік водоспоживання для середнього за населенням (близько 300-400 тис. мешканців) обласного центру України, то можна спостерігати такі закономірності (рис.5):

- «провал водоспоживання» у нічний період з 1-ї до 5-ї години.

Він характеризується найменшим водоспоживанням споживачами. Тому у цей період необхідно забезпечити мінімальну кількість подачі води у систему з максимально можливим контролем надмірних тисків по гілках системи водопроводу з метою забезпечення оптимальних показників енергоємності процесу водоподачі:

$$E\epsilon = \frac{N}{Q} \rightarrow const, \quad (1)$$

де $E\epsilon$ – енергоємність процесу водоподачі, кВт·год/м³;

N – кількість споживаної електроенергії насосними станціями, кВт;

Q – об'єм водоподачі, м³/год.

Нічний період водопостачання характеризується доволі плавною зміною об'ємів водоспоживання без значних стрибків (за винятком великих пожеж або інших непередбачуваних ситуацій).

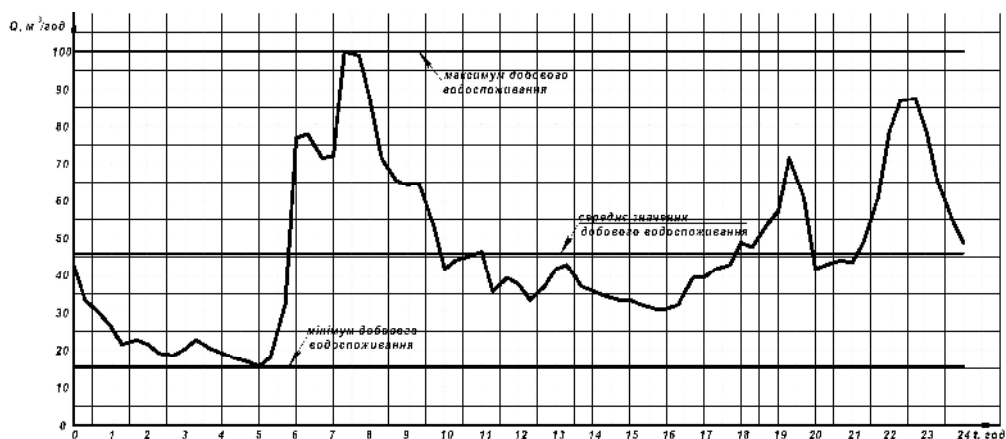


Рисунок 5 – Приклад графіка водоспоживання для середнього за населенням (близько 300-400 тис. мешканців) обласного центру України

Мінімум добового водоспоживання припадає близько 5-ї години і може бути нижчим за середньодобові показники приблизно на 70% і нижче.

– Режим водоспоживання у період з 5-ї до 8-ї години характеризується стрімким зростанням водоспоживання з досягненням свого першого добового піку, що може перевищувати середньодобові показники навіть вдвічі.

– Різке зниження об'ємів водоспоживання у період з 8.00 до 12.30 з незначними коливаннями.

– Несуттєве зростання об'ємів водоспоживання в період з 12.30 до 13.30.

– Зниження водоспоживання з 13.30 до 16.00.

– Стрімке зростання водоспоживання з 16.00 до 19.30 з досягненням свого другого добового піку, що може перевищувати середньодобовий показник більше ніж на 60%.

– «Провал водоспоживання» у вечірній час з 19.30 до 21-ї години.

– Різке зростання обсягів водоспоживання з 21-ї до 23-ї години з досягненням третього добового піку, що може відрізнятись від середньодобового показника майже на 100%.

– Зниження водоспоживання з 23-ї до 24-ї години.

Зміни обсягів водоспоживання продовж доби є прогнозованими, їх можна пояснити графіком функціонування споживачів, що впливають у даний період часу на формування водоспоживання.

«Провал водоспоживання» у нічний час пояснюється тим, що в цей період практично єдиними споживачами води є підприємства, які працюють у нічний час, а їх технологія потребує споживання води, а також мають місце непродуктивні втрати води у водопровідній системі за рахунок несправної апаратури (запірні вентиля, крани, унітази та ін.).

Підвищення водоспоживання в ранковий період з 5-ї до 8-ї години пояснюється приєднанням великої кількості побутових споживачів (населення), які в цей час збираються на роботу.

Протягом денного періоду водоспоживання є практично рівномірним з невеликими коливаннями. У цей час основними споживачами води є підприємства і установи.

Невелике зростання водоспоживання в обідній час пояснюється підключенням до водоспоживання побутових споживачів.

Після 16-ї години обсяги водоспоживання знову починають зростати у міру того, як населення повертається з роботи і починає споживати воду для побутових потреб.

Ближче до 23-ї години водоспоживання знижується через відключення від мережі більшості побутових споживачів.

Таким чином, середня величина водоспоживання формується такими споживачами, як підприємства і установи. Максимальну величину забезпечують усі три категорії споживачів (підприємства, установи і населення). Мінімум водоспоживання пов'язаний із потребою у воді лише підприємств та витоками у системі.

Для аналізу організації роботи системи водопостачання розглянемо графік водоспоживання через систему та насоси III підйому ЦТП-17 м. Сум (рис. 6).

З огляду на суттєві коливання обсягів водопостачання у періоди доби та технічні характеристики насосів, що працюють на мережу, одним насосним агрегатом неможливо організувати ефективну, з точки зору використання енергії, подачу води споживачам із заданими граничними показниками зміни тиску у мережі.

Для детального аналізу енергоємності роботи обладнання насосної станції впродовж доби було побудовано комплексну діаграму (рис. 6), на якій зображено:

- реальний графік добового водопостачання (отриманий на ЦТП-17 м. Сум), що демонструє добове коливання споживання води;

- паспортні напірні та енергетичні характеристики насосного обладнання, що працює на ЦТП, а також зображено напірну та енергетичні характеристики паралельно працюючих насосних агрегатів на мережу;

- графік енергоємності роботи насосного обладнання.

Граничними параметрами роботи системи є: задоволення споживання об'єму води споживачами мережі згідно з графіком (рис. 6) у межах від 15 до 100 м³/год.

При цьому зміна тиску у мережі має бути у межах $p = \pm 0,5$ кг/см², тобто при роботі системи водопостачання повинні виконуватися умови

$$\begin{cases} Q - \text{var} \\ p - \text{const} \end{cases}, \quad (2)$$

де Q – витрата води у системі, м³/год;

p – тиск у мережі, кг/см².

Згідно з рекомендаціями виробника насосних агрегатів К80-50-200 робочий діапазон напірної характеристики насоса є діапазоном витрат Q , у якому ККД агрегата змінюється у межах 5% від максимального. Тому для зазначених насосів робочою частиною напірної характеристики доцільно вважати її відрізок у межах витрат від 38 до 60 м³/год.

За необхідності стабілізування тиску у мережі насосний агрегат обмежений параметрами напору $H = 50 \text{ м} \pm 5 \text{ м}$.

Тому граничним, з точки зору забезпечення мінімального тиску у системі, є значення напору 45 м. Максимальне експлуатаційне значення напору обмежується 55 м, але його збільшення на 10-15% не є критичним з точки зору міцності елементів мережі. Перевищення максимального експлуатаційного значення напору тягне за собою перевитрату енергії у системі за рахунок створення надмірного тиску, тому його перевищення не є доцільним з точки зору енергоефективності роботи мережі.

Виходячи із зазначених міркувань, бажаним діапазоном роботи насосного агрегата є частина характеристики між точками А та Б (рис.6), тобто енергоефективними режимами роботи насосного обладнання у нашому випадку можна вважати режими, при яких параметри насоса змінюються у межах зміни ККД насоса 5% від максимального, і при цьому не створюється надмірний тиск у системі.

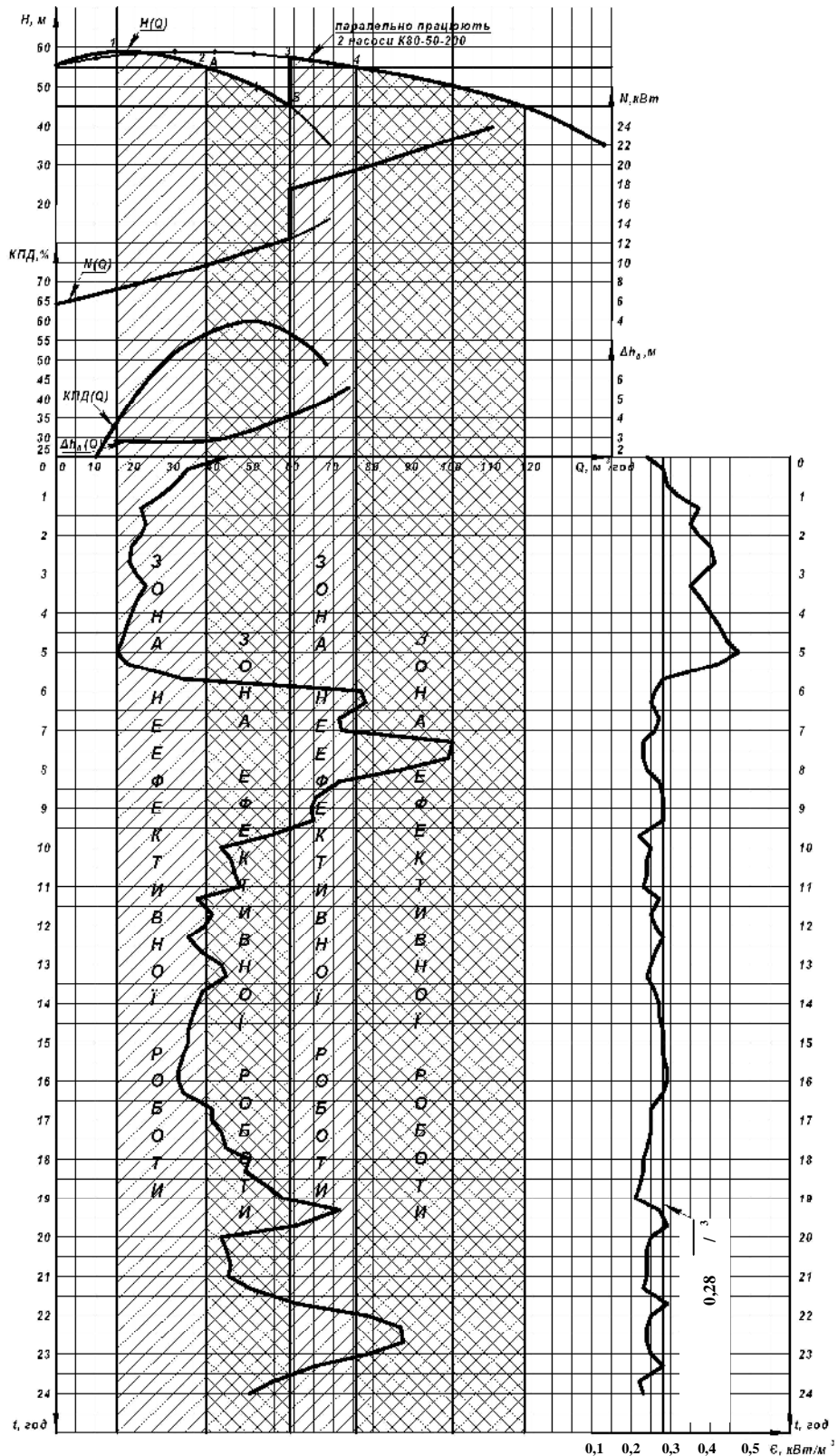


Рисунок 6 – Діаграма водоспоживання мережею та роботи насосного обладнання на мережу

Порівнюючи вказаний діапазон з графіком споживання води мережею, визначаємо, що за допомогою зазначеного агрегату ми можемо забезпечити потреби мережі (при енергоефективній роботі насосного агрегата) у межах від 38 до 59 м³/год., що частково задовольняє потреби мережі. Режим роботи мережі із зазначеним діапазоном витрат спостерігається упродовж 8,5 години, що становить 35% тривалості періоду, що аналізується (добі).

Згідно з графіком добового споживання при роботі (у енергоефективному режимі) насосного агрегата потреби мережі у якісному водопостачанні будуть задовольнятися тільки у періоди: з 0.00 до 0.10 год., з 5.44 до 5.52 год., з 9.30 до 11.14 год., з 11.32 до 11.56 год., з 12.45 до 13.38 год., з 16.37 до 19.02 год., з 19.43 до 21.38 год., з 23.32 до 24.00 год.

При зменшенні витрати насосного агрегата менше 38 м³/год. спостерігається підвищення напору, що призводить до підвищення тиску у системі та надлишкових витрат енергії.

Для забезпечення потреби споживачів мережі необхідно організувати паралельну роботу декількох насосних агрегатів. При цьому необхідно забезпечити енергоефективну роботу кожного з агрегатів, тобто у будь-який час має бути дотримано вимогу (1).

Паралельна робота декількох насосів на мережу є найбільш доцільною, коли агрегати мають однаковий напір у робочій точці та мають однаковий нахил напірної характеристики. Тому пропонується для спільної роботи однакові насосні агрегати марки К80-50-200 з параметрами у робочій точці $Q_{роб.}=50$ м³/год., $H_{роб.}=50$ м.

Напірну характеристику паралельної роботи двох насосних агрегатів на мережу також показано на рис. 6.

Аналізуючи напірну характеристику паралельної роботи насосних агрегатів та графік добового споживання води мережею, визначаємо, що за допомогою двох паралельно працюючих однакових насосних агрегатів потреби мережі можуть забезпечуватися (при енергоефективній роботі) у межах від 76 до 100 м³/год. Режим роботи мережі із зазначеним діапазоном витрат спостерігається упродовж 2,5 години, що становить 10% тривалості періоду, що аналізується (добі). При роботі двох паралельно працюючих агрегатів у енергоефективному режимі потреби мережі у якісному водопостачанні будуть задовольнятися в періоди: з 5.59 до 6.26 год., з 7.14 до 8.13 год., з 21.57 до 23.04 год.

При потребі мережі від 59 до 76 м³/год. два паралельно ввімкнених насосних агрегати працюють з перевищенням напору, що призводить до зниження енергоефективності і підвищення енергоємності роботи насосного обладнання. Зону неефективної роботи двох паралельно працюючих насосних агрегатів показано на рис. 6.

Режим роботи мережі з зазначеним діапазоном витрат спостерігається упродовж 3,5 години, що становить 15% тривалості періоду, що аналізується (добі).

За графіками (рис. 6) зони надмірних тисків визначаються від точки 1 до точки 2, від точки 3 до точки 4.

Середнє значення перевищення напору у зоні роботи одного насосного агрегата (т.1-т.2) становить $\Delta H_{1-2}=57$ м.

Середнє значення перевищення напору у зоні паралельної роботи двох насосних агрегатів (т.3-т.4) становить $\Delta H_{3-4}=56$ м.

Середнє значення витрати насоса у зоні надмірних тисків від точки 1 до точки 2 $Q_{сер.1-2}$ становить 27 м³/год. (0,0075 м³/с); середнє значення витрати насосів у зоні надмірних тисків від точки 3 до точки 4 $Q_{сер.3-4}$ становить 67 м³/год. (0,0186 м³/с).

Визначимо середнє значення надмірної потужності насосних агрегатів у зонах (т.1-т.2) та (т.3-т.4) за формулами [2]:

$$\Delta N_{надм.1-2} = \frac{9,81 \cdot Q_{сер.1-2} \cdot \Delta H_{1-2}}{\eta_{1-2}}, \quad (3)$$

$$\Delta N_{надм.3-4} = \frac{9,81 \cdot Q_{сер.3-4} \cdot \Delta H_{3-4}}{\eta_{3-4}}, \quad (4)$$

де $\Delta N_{надм.1-2}$ - надмірна потужність насосного агрегата у зоні (т.1-т.2) порівняно з енергоефективним режимом роботи агрегата, кВт;

$\Delta N_{надм.3-4}$ - надмірна потужність насосних агрегатів у зоні (т.3-т.4) порівняно з енергоефективним режимом роботи агрегатів, кВт;

η_{1-2} - ККД насосних агрегатів при їх роботі на мережу у зоні (т.1-т.2);

η_{3-4} - ККД насосних агрегатів при їх роботі на мережу у зоні (т.3-т.4).

Надмірна потужність насосних агрегатів у зонах надмірних тисків становить

$$\Delta N_{надм.} = \Delta N_{надм.1-2} + \Delta N_{надм.3-4}. \quad (5)$$

Провівши необхідні розрахунки, маємо

$$\Delta N_{надм.} = 9,3 + 22,7 = 32 \text{ кВт.}$$

Визначивши періоди роботи насосних агрегатів за добу (у режимі (т.1-т.2) - t_{1-2} , год. та у режимі (т.3-т.4) - t_{3-4} , год.), можна розрахувати перевитрату електроенергії, яку спожили за добу насосні агрегати, працюючи у неенергоефективному режимі:

$$\Delta P = \Delta N_{надм.1-2} \cdot t_{1-2} + \Delta N_{надм.3-4} \cdot t_{3-4}, \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}, \quad (6)$$

$$\Delta P = 9,3 \cdot 9,5 + 22,7 \cdot 3,5 = 167,8 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу.}$$

Таким чином, потенціал енергозбереження у даній технологічній системі подачі води обчислено у кількості $\Delta P = 167,8$ кВт·год/добу.

Для реалізації цього потенціалу можливе проведення декількох заходів:

1. Застосування додаткового насосного агрегата, який би задовольняв потреби мережі у діапазоні подач від 15 до 38 м³/год. самостійно без включення у роботу насосних агрегатів К80-50-200 з енергоефективністю у робочій точці не нижче енергоефективності насосів К80-50-200.

2. Впровадження системи плавного регулювання роботи групи насосних агрегатів у діапазоні від 59 до 76 м³/год.

При цьому необхідно звернути увагу на зменшення надлишкових тисків у системі та зменшення «стрибка» подачі при включенні другого насоса К80-50-200.

Витрати на впровадження мають бути зіставлені із зазначеним потенціалом енергозбереження у даній системі [3,4].

На рис.6 показано сумарний графік енергоємності роботи насосного обладнання в різні періоди доби для задоволення потреб мережі.

ВИСНОВКИ

З метою підвищення енергоефективності процесу подачі води у системи водоспоживання необхідно, у першу чергу, проводити аналіз добового графіка водоспоживання.

Виходячи з аналізу добового графіка, необхідно визначити граничні показники роботи насосного обладнання за напором та витратою.

При визначенні граничних режимів роботи насосного обладнання необхідно враховувати можливість роботи насосних агрегатів у зоні зміни ККД насоса $\eta_{\max} - 5\%$.

Технологічний процес паралельної роботи насосних агрегатів необхідно організувати так, щоб уникати надлишкових напорів. Сумарна миттєва витрата насосів, що працюють на мережу, повинна відповідати потребі мережі згідно з добовим графіком витрати.

При проектуванні технологічного процесу подачі води у систему необхідно враховувати можливу допустиму кількість включень насосних агрегатів за визначений період часу.

Основним критерієм енергоефективності технологічного процесу подачі води має бути показник енергоємності, що характеризується питомими витратами електроенергії на 1 м^3 перекачуваної води:

$$EE = \frac{N}{Q} \rightarrow const$$

Цей показник повинен мати однакові миттєві значення для всього періоду добового графіка подачі води насосними станціями.

SUMMARY

ABOUT FORMATION OF LINES' WATER SUPPLY STRUCTURE PROVIDING WITH PUMPING STATIONS

*V.S. Boiko, M.I. Sotnik, L.V. Gapich,
National Technical University of Ukraine "KPI", Kyiv;
Sumy State University, Sumy*

The analysis of the diagram of water consumption by network is done in the article and the sequence of design process of pumping station's work on the network considering the pump units energy costs' rationalization and pressure stabilization is considered. The use of several pump units parallel working on the network considering the number of possible pumps' switching on / off during analyzed period is offered.

Key words: *energy efficiency, pumping station, water consumption, water supply, water consumption daily schedule, pump unit, pressure and power characteristics, pumping units' parallel work, power consumption.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: учебник для вузов/ Н.Н. Абрамов.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.
2. Кривченко Г.И. Гидравлические машины: Турбины и насосы: учебник для вузов - 2-е изд., перераб. / Кривченко Г.И. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с., ил.
3. Бешта А.С. Выбор рационального способа регулирования подачи воды насосным агрегатом / А.С. Бешта, А.А. Азюковский //Техническая термодинамика. – 2003. - №3. – С. 65-71.
4. Євтушенко О.А. Визначення оптимального складу насосної станції / Євтушенко О.А., Неня В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О. // Вісник Кременчуцького державного університету. – 2008. – Вип.4/2008(51), Ч. 1. – С. 158-162.

Надійшла до редакції 29 березня 2011 р.