

ВІСНИК

КРЕМЕНЧУЦЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО
ПОЛІТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені Михайла
Остроградського



Випуск 4/2008 (51) Частина 1

**Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету
імені Михайла Остроградського. –
Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 4/2008 (51) частини 1. – 184 с.**

ISSN 1995—0519

Відповідно до постанови президії ВАК України від 09.06.1999 року № 1-05/7 збірник пройшов реєстрацію і внесений до Переліку № 1 фахових видань, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук.

Друкується за рішенням Вченої ради Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського (протокол ВР № 6 від 24.04.2008 р.).
Свідоцтво про державну реєстрацію серії КВ № 12637–1521 ПР від 04.05.2007 р.

Збірник публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, природничих та гуманітарних наук.

Редакційна рада:

Андрусенко О. М., д. т. н., проф.; Артамонов В. В., д. т. н., проф.; Воробйов В. В., д. т. н., проф.; Єлізаров О. І., д. ф. — м. н., проф.; Загірняк М. В., д. т. н., проф. (голова ради); Никифоров В. В., к. б. н., доц. (відповідальний секретар); Козловська Т. Ф., к. х. н. доц. (технічний редактор); Комір В. М., д. т. н., проф.; Луговой А. В., к. т. н., проф. (заступник голови); Маслов О. Г., д. т. н., проф.; Родькін Д. Й., д. т. н., проф.; Саленко О. Ф., д. т. н., проф.; Сокур М. І., д. т. н., проф.; Солтус А. П., д. т. н., проф.; Хоменко М. М., д. е. н., проф.; Шмандій В. М., д. т. н., проф.; Юрко О. А., д. т. н., проф.

© Науково-дослідна частина, 2008 р.

ISSN 1995-0519

Адреса редакції: 39614, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського. МОВ, к. 3210.
Телефон: (05366) 3-62-17. E-mail: nich@polytech.poltava.ua

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І МОДЕЛЮВАННЯ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЛЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБРАТНЫМ МАЯТНИКОМ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАНОНИЧЕСКИХ КООРДИНАТ <i>Полилов Е.В., Солдатенко Н.А.</i> | 131 |
| К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСАХ <i>Алексеева Ю.А., Коренькова Т.В.</i> | 136 |
| МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕСРНОЇ УСТАНОВКИ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗА СИСТЕМОЮ АСИНХРОННОГО ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДУ ТА ФАЗЗИ-РЕГУЛЯТОРМ ШВИДКОСТІ ДЛЯ МЕРЕЖІ ЗІ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТАМИ <i>Кузнецов В.В., Пермяков В.М., Грицай В.М.</i> | 140 |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА С ОБЩЕЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ <i>Орловский И.А., Бут Ю.С.</i> | 145 |
| АНАЛІЗ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕКТРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ <i>Бурбело М. Й., Гадай А.В.</i> | 150 |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА <i>Шаповал В.П., Гусевский Ю.И.</i> | 155 |
| ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ СИСТЕМИ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ <i>Євтушенко А.О., Неня В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О.</i> | 158 |
| ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ КАВИТАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ГИДРОТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ <i>Сердюк А.А., Коренькова Т.В.</i> | 163 |
| ПОГРЕШНОСТИ БЕСПЛАТФОРМЕННОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ КУРСА И КОМПОНЕНТ ВЕКТОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ <i>Снигур А.К.</i> | 169 |
| АДАПТИВНІ ВИКОНАВЧІ ОРГАНИ МАШИН МУЛЬТИПЛІКАТОРНОЇ ДІЇ <i>Шевчук С.П., Сліденко В.М., Замараєва О.В.</i> | 174 |
| СИНТЕЗ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ С ЛИНЕЙНОЙ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИЕЙ <i>Андреев А.И.</i> | 177 |
| <i>Правила оформлення статей до збірника</i> | 181 |
| <i>Список авторів</i> | 183 |

УДК 621.67: 658.26.012.32:628.1(477)

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ СИСТЕМИ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Євтушенко А.О., к.т.н., проф., Неня В.Г., к.т.н., доц., Сотник М.І., к.т.н., доц.
Хованський С.О., асп.*

*Сумський державний університет
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2
E-mail: serg_83@ukr.net*

Для реальных графиков водопотребления в коммунальном хозяйстве разработана методика определения количества насосных агрегатов на насосных станциях третьего подъема. Исследования показали наличие их оптимума. Реальные графики водопотребления имеют значительной ширины зону в координатах "расход-время". Оптимальное решение количества насосов одинаково для всей ширины зоны графика водопотребления.

Ключевые слова: энергосбережение, водоснабжение, насосное оборудование, ступенчатое регулирование.

The technique of definition of quantity of pump units is developed for real schedules of water consumption in a municipal services at pump stations of the third rise. Researches have shown the presence of their optimum. Real schedules of water consumption have significant width a zone in coordinates "charge-time". The optimum decision of quantity of pumps equally for all width of a zone of the schedule of water consumption is offered.

Key words: energy saving, water supply, pump equipment, step regulation.

Вступ. Одним із стратегічних напрямків реформування сучасного житлово-комунального господарства України є енергозбереження: зменшення витрат і втрат енергоносіїв, скорочення енергоемності продукції і послуг. Особливо актуальні ці проблеми для підприємств сфери водопостачання та водовідведення, частка енергетичних витрат у собівартості послуг яких досягає 50 % [1].

Високий рівень енергоемності продукції і послуг вітчизняних водопостачальних підприємств обумовлений нераціональним використанням енергії у виробничих процесах внаслідок значного зношення діючого обладнання, високого рівня втрат води в мережах, а також завідома високою енергоемністю продукції і послуг, закладеною при проектуванні цих підприємств. Останній фактор значною мірою визначений історично початковими умовами розвитку систем водопостачання і водовідведення в містах України. Становлення цієї сфери комунального господарства відбувалося в період панування планової економіки (1960-1980-і роки), яка характеризувалася найбільшими розмірами державних капітальних вкладень у міськводоканали. У той час розвиток економіки відбувався переважно екстенсивним шляхом в умовах низьких цін на енергоресурси [2].

При проектуванні насосних станцій (з розрахунком на ріст водоспоживання в майбутньому) насоси вибиралися зі стандартного ряду з запасом по напору і розраховувалися на максимальний режим витрати, однак при цьому не враховувалися коливання добового графіка споживання води.

Враховуючи вищезазначене, актуальною проблемою для підприємств водопостачання є високий рівень енерговитрат, які обумовлені встановленням обладнання завищеної потужності. Таким чином, практично у всіх містах України є резерви зниження

енергоемності водопостачання за рахунок визначення оптимальної кількості насосного обладнання насосної станції системи водопостачання на підставі аналізу коливань добового графіка споживання води [3,4].

Мета роботи. Розробка методики визначення оптимальної кількості насосних агрегатів на насосних станціях третього підйому і визначення впливу зовнішніх чинників функціонування системи.

Матеріал і результати досліджень. Споживання населення, в тому числі і водоспоживання, виступає у якості одної з основних характеристик рівня народного добробуту. На даний час без глибокого дослідження процесів водоспоживання неможливо не тільки задати напрямком для проектування систем водозабезпечення, визначити оптимальні темпи і напрямки розвитку, але й забезпечити безперервне водопостачання, при раціональному використанні води.

Водоспоживання в житлово-комунальному господарстві не рівномірне і залежить від багатьох факторів: поверховості забудови, ступеня благоустрою будинків, стану встановленого водорозбірного обладнання, числа споживачів, кліматичних умов, пори року [5]. Режимми водоспоживання, тобто зміни величин витрати води впродовж доби, місяця, року також нерівномірні і залежать від багатьох факторів. Величина і режими водоспоживання впливають на роботу водопровідних мереж, на якість і безперервність водозабезпечення населення. Якісне водопостачання забезпечується в тому випадку, коли процеси подачі і споживання води є динамічно збалансовані.

У більшості випадків водоспоживання має випадковий характер, це пояснюється тим, що вода в мережі споживається в хаотичному режимі, в кожний наступний момент часу кількісний і якісний склад

споживачів води відрізняється від початкового. Ця обставина є тим фактором, який ускладнює оцінку роботи насосного обладнання, особливо споживання електричної енергії.

Сучасні методики побудови математичних моделей режимів водоспоживання базуються на основі теорії випадкових функцій, але проблема в застосуванні цих методик полягає в складності отримання статистичних матеріалів, необхідних для застосування цих методик і побудови моделей. Таким чином, на даний момент відсутні широкі наукові дослідження і їх узагальнення для розробки інженерних методик розрахунків.

Зважаючи на те, що при проектуванні систем водопостачання не враховувалися коливання режимів водоспоживання, то зазвичай робочі режими насосних агрегатів знаходяться поза робочими зонами їх характеристик, що призводить до необхідності регулювання гідравлічних параметрів насосних агрегатів. З досвіду можна сказати, що узгодження параметрів насосної станції і гідравлічної мережі здійснюється переважно зовнішніми гідравлічними засобами: дроселюванням та зворотнім відбором води (байпасуванням), які пов'язані з втратами енергії, але зважаючи на те, що реалізація вищезазначених способів відносно малозатратна і не потребує складних технічних рішень, дані способи регулювання мають місце у вітчизняній практиці.

Для більш ефективного узгодження добових коливань водоспоживання у мережі і параметрів насо-

су (розрахованих на постійний режим роботи) слід застосовувати ступеневе (зміна кількості одночасно працюючих агрегатів) або плавне (зміна частоти обертання робочого колеса насоса за допомогою впливу на його привод) регулювання характеристик насосної станції. Детальніше зупинимось на ступеневому регулюванні характеристик насосної станції.

Подальші розрахунки будуть базуватися на фактичних даних водоспоживання, отриманих на центральному тепловому пункті № 17 (ЦТП-17) м. Суми по вул. Ковпака, 47. Дане ЦТП обслуговує 12 дев'яти поверхових житлових будинків, кількість зареєстрованих абонентів становить 1 463 чол.

Обстеження даного об'єкту проводилося згідно "Методики енергетичного обстеження систем водопостачання промислових та комунальних підприємств" [6, 7].

Виміри витрати води проводилися за допомогою ультразвукового портативного витратоміра-лічильника "ВЗЛЕТ-ПР" з реєстрацією даних витрат з інтервалом 30 секунд впродовж 5 діб.

На рис. 1 представлений реальний графік добового водопостачання досліджуваного ЦТП, що демонструє добове коливання споживання питної води. Фактичний графік водоспоживання являє собою деякий діапазон значень в полі координат Q-t, який обмежений кривими максимального і мінімального водоспоживання. Аналізуючи графік, слід відмітити ширину діапазону зміни витрат, яка має досить суттєве значення.

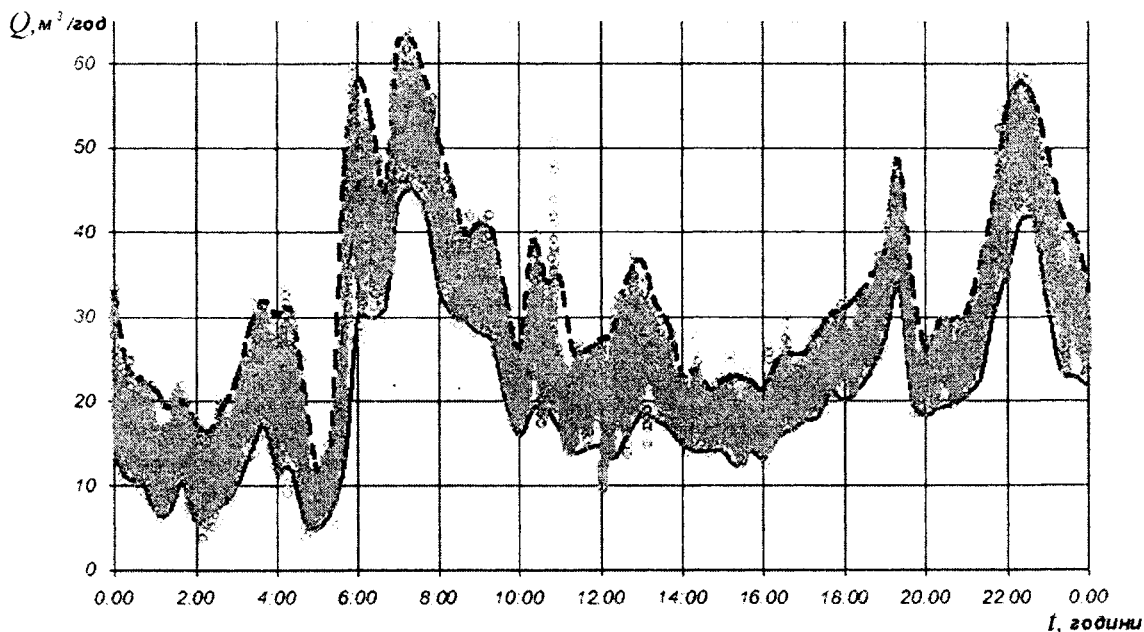


Рисунок 1 – Графік водопостачання на ЦТП-17 м. Суми

Вартість спожитої електроенергії при ступеневому регулюванні можна обчислити за формулою:

$$V_{\text{ел}} = a \cdot \sum_i N_i \cdot t_i, \quad (1)$$

де a – вартість електроенергії, грн/кВт; N_i – потужність насосного обладнання водонасосної станції, працюючого в i -му режимі роботи, кВт; t_i – кіль-

кість годин роботи насосного обладнання у відповідному режимі, год.

Якщо при ступеневому регулюванні застосовувати однакові насосні агрегати, то формулу (1) можна записати як:

$$V_{\text{ел}} = a \cdot N_{\text{од}} \sum_i n_i \cdot t_i, \quad (2)$$

де $N_{од}$ – потужність одиничного насоса, кВт; n_i – кількість одночасно працюючих насосних агрегатів (з'єднаних паралельно) в i -му режимі роботи, шт.

Одним з основних техніко-економічних показників роботи насосної станції є енергоємність (ЕЕ): відношення кількості затраченої енергії електродвигуна (N) до кількості перекачуваної води насосом (Q). Значення цього показника повинно бути величиною постійною, при наближенні кількості затраченої енергії електродвигуна (N) до мінімуму.

$$EE = \frac{N}{Q} = \text{const}, \text{ при } N \rightarrow \text{min}. \quad (3)$$

Враховуючи вищезазначене, визначимо споживання електричної енергії (2) і енергоємність насосної станції (3) зі ступеневим регулюванням двох паралельно працюючих насосів. До розрахунку приймалися середні значення фактичних даних водоспоживання рис. 1, і насосні агрегати фірми Grundfos CR 32-4 ($Q_n = 30,6 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_n = 52,1 \text{ м}$, $N_{дв} = 7,5 \text{ кВт}$). Дані розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахунок добового споживання електричної енергії і енергоємності насосної станції

| Години | Q, м ³ /год | H, м | n, шт | N, кВт·год | ЕЕ, кВт·год/м ³ |
|--------|------------------------|------|-------|------------|----------------------------|
| 0 | 23,1 | 61,8 | 1 | 6,6 | 0,29 |
| 1 | 14,1 | 69,0 | 1 | 5,3 | 0,38 |
| 2 | 11,6 | 70,2 | 1 | 4,9 | 0,43 |
| 3 | 16,3 | 67,7 | 1 | 5,6 | 0,34 |
| 4 | 21,2 | 63,7 | 1 | 6,3 | 0,30 |
| 5 | 8,4 | 71,2 | 1 | 4,5 | 0,54 |
| 6 | 44,1 | 62,9 | 2 | 12,9 | 0,29 |
| 7 | 53,0 | 57,9 | 2 | 14,3 | 0,27 |
| 8 | 42,1 | 63,9 | 2 | 12,6 | 0,30 |
| 9 | 34,5 | 67,0 | 2 | 11,5 | 0,33 |
| 10 | 21,2 | 63,7 | 1 | 6,3 | 0,30 |
| 11 | 25,5 | 59,0 | 1 | 7,0 | 0,27 |
| 12 | 20,9 | 64,0 | 1 | 6,3 | 0,30 |
| 13 | 27,5 | 56,5 | 1 | 7,3 | 0,27 |
| 14 | 19,0 | 65,7 | 1 | 6,0 | 0,32 |
| 15 | 18,2 | 66,3 | 1 | 5,9 | 0,32 |
| 16 | 17,4 | 67,0 | 1 | 5,8 | 0,33 |
| 17 | 21,6 | 63,3 | 1 | 6,4 | 0,30 |
| 18 | 25,6 | 58,9 | 1 | 7,0 | 0,27 |
| 19 | 32,6 | 67,7 | 2 | 11,2 | 0,34 |
| 20 | 22,3 | 62,6 | 1 | 6,5 | 0,29 |
| 21 | 25,6 | 58,9 | 1 | 7,0 | 0,27 |
| 22 | 45,0 | 62,5 | 2 | 13,1 | 0,29 |
| 23 | 40,3 | 64,7 | 2 | 12,4 | 0,31 |
| 24 | 27,5 | 56,6 | 1 | 7,3 | 0,27 |
| Всього | 648,6 | | | 194,2 | |

В наведених вище розрахунках була прийнята модель регулювання за напором, зменшення напору у вихідному колекторі до 50 м є умовою ввімкнення наступного насосного агрегату.

При проектуванні (модернізації) насосних станцій різного призначення можливий вибір серед декількох технічно рівноцінних варіантів, при яких повністю виконуються вимоги по забезпеченню необхідних напорів і подач, але різних за вартістю.

Техніко-економічні розрахунки обґрунтовують доцільність проектування нових або реконструкцію діючих систем водопостачання. На основі даних розрахунків приймаються управлінські рішення щодо будівництва, реконструкції об'єктів, вибираються оптимальні технічні рішення по об'єкту в цілому і по окремим його складовим.

В практиці проектування і реконструкції насосних станцій частіше за все користуються показниками порівняльної економічної ефективності капіталовкладень в будівництво одного і того ж об'єкту. При порівнянні можливих технічних рішень (впровадження нових видів обладнання, механізмів, матеріалів, технологічних процесів) критерієм оптимізації є мінімум приведених витрат $V_{пр}$ [8]:

$$V_{пр} = V_{кап} + V_{пот} \cdot T_{сл} \rightarrow \text{min}, \quad (4)$$

де $V_{пр}$ – приведені витрати, грн.; $V_{кап}$ – капітальні (одноразові) витрати на введення в експлуатацію об'єкту (включаючи витрати на придбання обладнання, його монтаж і наладку), грн.; $V_{пот}$ – поточні (щорічні) витрати на експлуатацію (функціонування) об'єкту, грн./рік; $T_{сл}$ – строк служби об'єкту, рік.

Поточні витрати на експлуатацію насосних станцій включають наступні види витрат:

$$V_{пот} = V_{амр} + V_{ел} + V_{рем} + V_{обсл}, \quad (5)$$

$V_{амр}$ – річні амортизаційні витрати на повне або часткове відтворення (капітальний ремонт) капітальних витрат; $V_{ел}$ – річні витрати на електроенергію, що споживає насосна станція; $V_{рем}$ – річні витрати на проведення поточного ремонту обладнання; $V_{обсл}$ – річні витрати на поточне обслуговування обладнання.

В розрахунках поточні витрати на проведення ремонтів і обслуговування насосних агрегатів в середньому були прийняті на рівні 10 % від вартості установки, строк служби установки 7 років (строк, гарантований виробниками до першого капітального ремонту), річну норму амортизації, виходячи з строку служби установки, прийнято у розмірі 15 % від величини капітальних вкладень в обладнання.

Інші витрати, наприклад, амортизація інших виробничих фондів, заробітна плата експлуатаційного персоналу, експлуатаційні витрати (опалення, освітлення, вентиляція виробничих площ) і т.д. суттєво не змінюються в залежності від параметрів установки і не впливають на прийняття управлінського рішення про реалізацію заходу.

При виборі оптимального варіанту необхідно враховувати, що інвестування може відбуватися в різний термін, а цінність витрат змінюється в часі. З урахуванням цього витрати різних років приводять до одного моменту часу [9]:

$$V_{пр}^d = V_{кап} + \sum_{t=0}^T \frac{V_{потt}}{(1+r)^t}, \quad (6)$$

де $V_{пр}^d$ – приведені дисконтовані витрати, грн.; $V_{потt}$ – поточні витрати, здійснені в t -му році; грн.; r – ставка дисконтування; T – строк служби об'єкту, рік.

При проведенні розрахунків ставка дисконтування у середньому приймається на рівні 20 % і враховує такі фактори, як ризик, інфляцію, облікову ставку Національного банку України [9].

Визначимо приведені дисконтовані витрати (6), споживання електричної енергії (2) і енергоємність (3) насосної станції зі ступеневим регулюванням паралельно працюючих насосів. До розрахунку приймалися середні значення фактичних даних водоспоживання (рис. 1) і насосні агрегати фірми Grunfos: CR 64-3 ($Q_n = 64,0 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_n = 53,9 \text{ м}$, $N_{дв} = 15 \text{ кВт}$), CR 32-4 ($Q_n = 30,6 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_n = 52,1 \text{ м}$, $N_{дв} = 7,5 \text{ кВт}$), CR20-4 ($Q_n = 20,0 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_n = 50,1 \text{ м}$, $N_{дв} = 5,5 \text{ кВт}$), CR 10-8 ($Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_n = 55,1 \text{ м}$, $N_{дв} = 3 \text{ кВт}$), CR 5-10 ($Q_n = 5,7 \text{ м}^3/\text{год}$, $H_n = 49,9 \text{ м}$, $N_{дв} = 1,5 \text{ кВт}$).

В розрахунках була прийнята модель регулювання за напором, зменшення напору у вихідному колекторі до 50 м є умовою ввімкнення наступного насосного агрегату. Дані розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння економічних показників при застосуванні різного типу насосних агрегатів

| Тип насосу | CR 64-3 | CR 32-4 | CR 20-4 | CR 10-8 | CR 5-10 |
|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Кількість, шт. | 1 | 2 | 3 | 5 | 11 |
| Добове споживання електроенергії, кВт·год | 281 | 194 | 162 | 140 | 171 |
| Добова середня енергоємність, кВт·год/м ³ | 0,49 | 0,31 | 0,25 | 0,22 | 0,21 |
| Вартість спожитої електроенергії за рік, тис. грн. | 41,1 | 28,4 | 23,7 | 20,5 | 25,1 |
| Вартість одного насосу, тис. грн. | 29,1 | 19,1 | 12,9 | 9,8 | 6,1 |
| Вартість насосної установки, тис. грн. | 29,1 | 38,2 | 38,6 | 49,2 | 66,9 |
| Середній нормативний строк служби, роки | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Річні витрати на обслуговування і ремонт, тис. грн. | 2,9 | 3,8 | 3,9 | 4,9 | 6,7 |
| Річні витрати на амортизацію, тис. грн. | 4,4 | 5,7 | 5,7 | 7,4 | 10,1 |
| Приведені дисконтовані витрати, тис. грн. | 238 | 202 | 182 | 191 | 248 |

Графічна інтерпретація вибору оптимального варіанта установки на основі показника приведених дисконтованих витрат представлена на рис. 2. Мінімум кривої приведених дисконтованих витрат відповідає оптимальному числу насосних агрегатів в установці. Даний результат отримано для середнього графіку водоспоживання.

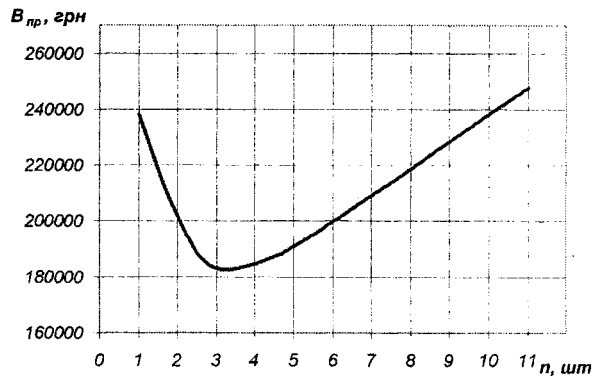


Рисунок 2 – Залежність приведених витрат від кількості насосних агрегатів

З огляду на наявність діапазону водоспоживання (рис. 1) доцільно визначити мінімальну кількість насосних агрегатів для максимального і мінімального водоспоживання, як зовнішніх чинників впливу на насосну станцію (рис. 3).

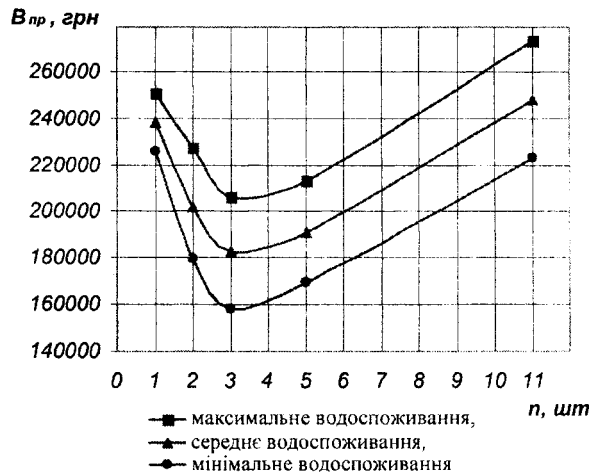


Рисунок 3 – Залежність впливу діапазону водоспоживання на оптимальну кількість насосних агрегатів водонасосної станції

Результати, приведені на рис. 3, показують, що для максимального і мінімального водоспоживання оптимальна кількість насосних агрегатів не змінюється, а тому в подальшому її доцільно визначати для середнього режиму водоспоживання.

Визначення оптимальної кількості насосного обладнання за критерієм мінімізації приведених дисконтованих витрат на будівництво (модернізацію) та експлуатацію насосної станції необхідно доповнити аналізом залежності зміни енергоємності насосної станції від кількості встановленого насосного обладнання.

На рис. 4 представлена залежність зміни добової енергоємності насосної станції від кількості встановленого на ній насосного обладнання. З точки зору енергоємності, як критерію прийняття управлінського рішення, збільшення кількості насосних агрегатів є доцільним, бо приводить до зменшення споживання електроенергії.

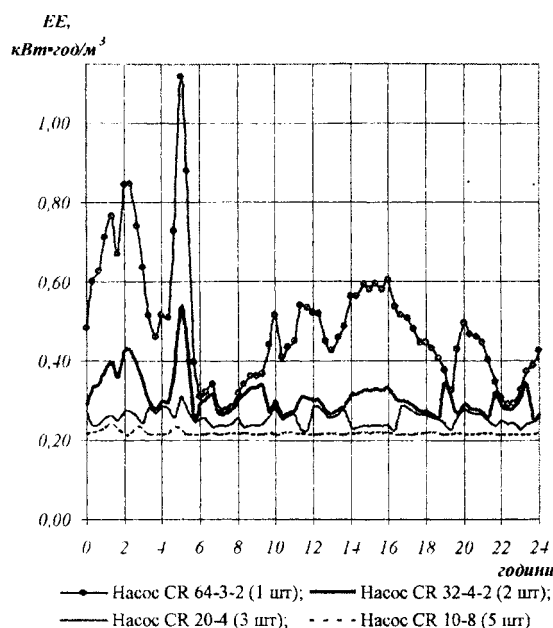


Рисунок 4 – Енергоємність насосної станції при різній кількості насосного обладнання

Аналіз результатів рис. 4 показує, що при збільшенні кількості насосних агрегатів зменшується середнє значення і діапазон змін добової енергоємності. Так, для насосної станції з одним насосним агрегатом (CR 64-3), середнє значення добової енергоємності становить $E_{E_{cp}} = 0,49$ кВт·год/м³ і діапазон змін значень енергоємності (1,28...-0,44) $E_{E_{cp}}$, а для насосної станції з 5 насосними агрегатами (CR 10-8) $E_{E_{cp}} = 0,22$ кВт·год/м³ і діапазон змін (0,1...-0,1) $E_{E_{cp}}$. Однак і при оптимальній кількості насосних агрегатів (визначеної за мінімумом кривої приведених дисконтованих витрат) значення енергоємності є достатньо стабільні і наближаються до мінімально можливого його значення, $E_{E_{cp}} = 0,25$ кВт·год/м³ і діапазон змін (0,22...-0,1) $E_{E_{cp}}$.

Висновки. Для технологічних систем, в яких має місце нерівномірний графік водоспоживання, в тому числі і систем комунального водопостачання, доцільно використовувати насосні станції зі ступеневим регулюванням. Кількість насосних агрегатів у таких станціях має оптимальне значення, отримане шляхом мінімізації приведених дисконтованих витрат на будівництво та експлуатацію насосних станцій.

Фактичний графік водопостачання являє собою деяку зону в полі координат Q-t, ширина цієї зони

має достатньо суттєве значення. Аналіз показав, що визначений оптимум у три насосні агрегати співпадає як для максимального, так і мінімального режимів водоспоживання.

Параметри одного насоса насосної станції фактично визначаються середнім значенням мінімальних зон графіка водоспоживання, за цих умов енергоємність насосної станції менша.

Детальне дослідження графіка водоспоживання показало наявність щохвилинової зміни витрат води у 10...20 м³/год, за цих умов регулювання витрати зміною кількості насосних станцій неможливо і доцільна розробка динамічних методів регулювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація. Підручник. – Кондор, 2007 – 288 с.
2. Бойко В.С., Сотник Н.И., Сотник И.Н. Энергоэффективная насосная станция третьего подъема Техническая термодинамика. 2005. – №3. – С. 62-65.
3. Бойко В.С., Сотник Н.И., Сотник И.Н. Оценка экономической эффективности энергосберегающего проекта модернизации повысительной насосной станции на ВОС «Днепр», г. Одесса // Механизм регулювання економіки, економіка природокористування, економіка підприємства та організація виробництва. – Суми, 2005. – Вип. 4. – С. 45-50.
4. Бойко В.С., Сотник Н.И., Сотник И.Н., Сотник О.М. Економічна ефективність енергозберігаючого проекту модернізації насосного устаткування на водопостачальному підприємстві (на прикладі КП „Житомирське виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства”) // Механизм регулювання економіки, економіка природокористування, економіка підприємства та організація виробництва. – Суми, 2006. – Вип. 2. – С. 93-98.
5. Белан А.Е. Технология водоснабжения. – Киев: Наук. думка, 1985. – 264 с.
6. Евтушенко А.А., Зинченко В.В. Сотник Н.И., Бойко В.С. Методика энергетического обследования и адаптация насосного оборудования действующих гидравлических сетей. // Вісник СумДУ. Технічні науки. – №5, 2006. – С. 46-58.
7. Антоненко С.С., Сапожников С.В., Смертяк С.Ю. Методика энергетического обследования систем водопостачання промислових та комунальних підприємств // Вісник СумДУ. Технічні науки. – №5, 2006 – С. 5-9.
8. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. Ученик для вузов. М.: Стройиздат, 1976. – 304 с.
9. Економіка підприємства: Підручник / За заг. ред. д.е.н., проф. Л.Г. Мельника. – Суми: ВТД „Університетська книга”, 2004. – 648 с.

Стаття надійшла 09.04.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П..