

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ РЕГУЛЬОВАНИХ ПОМП

© Венгльовський В.І., 2004

Сформовані технологічні вимоги до характеристик відцентрових pomp систем теплопостачання. Здійснений аналіз двох способів дроселювання – механічного і електричного. Доведена економічна ефективність частотно-керованого електроприводу помпи.

In this article the technological requirements to performances of centrifugal pumps of systems heat supply are formulated. The analysis of two methods throttling of pumps – mechanical and electrical is held. The economic efficiency is demonstrated is frequent of the controlled electric drive of the pump.

Постановка проблеми. Теплові навантаження і витрати води в системах теплопостачання (СТ) можуть залишатися певний час сталими або змінними. Для транспортування теплоносіїв при сталих і змінних витратах води і втратах тиску в СТ використовують мережеві, живильні, змішувальні, підвищувальні і циркуляційні відцентрові помпи (ВП). Для забезпечення технологічних параметрів, підтримання потрібного тиску і витрат води, автоматизації й управління помпових агрегатів застосовують різні енергозатратні способи управління без зміни швидкості приводних електродвигунів, або зі східчастою зміною останньої.

Таке управління не дозволяє досягти необхідних змінних тисків і витрат води ВП, спричиняє часті вмикання і вимикання останніх та перевитрати електроенергії, вимагає установки різних за продуктивністю pomp, їх резервування, здорожує системи теплопостачання. Серед pomp СТ є помпи як зі змінними, так і сталими параметрами (тисками і витратами води) з усіма їхніми комбінаціями. Серед різних способів зміни цих параметрів ВП найпоширенішим є дроселювання. Чим глибше дроселювання, тим більші енергетичні втрати помпових агрегатів.

Отже, для зменшення цих втрат нарізла потреба застосувати асинхронний привод ВП із плавним частотним регулюванням швидкості електродвигуна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженнях [1–11] розглянуто режими роботи ВП з їх приводами і технологічні проблеми транспортування холодної і гарячої води. Досі у системах холодного водопостачання, опалення, вентиляції і кондиціонування повітря [1–3, 8, 9], теплопостачання великих міст [4, 10] переважали ВП із нерегульованим приводом. Такий привод pomp може забезпечити лише східчасту зміну витрати і тиску води. Для цього використовуються різні схеми їх вмикання (паралельні, послідовні, змішані) і затратне дроселювання самих pomp [9, 10]. Нерегульований привод ВП зумовлює перевитрати електричної енергії на самому приводі, в pompі, в трубопроводах СТ, оскільки подачі і напори у створюваних режимах не відповідають потрібним, близьким до оптимальних або таких, що мало від них відрізняються. Тому вже давно у житлово-комунальному секторі господарства настала потреба у регульованих ВП.

Керований електропривод ВП дозволяє змінювати подачу і напір у потрібних частотних діапазонах і при незначному зниженні коефіцієнта корисної дії (ККД). Частотно-керовані двигуни ВП зменшують споживання електричної енергії самим приводом до 50 % і на перекачуванні теплоносія по трубопроводах до 25 % [1] є найперспективнішими на найближчі 10–15 років [7, 8].

Впровадження такого приводу, крім економії електроенергії, підвищить надійність обслуговування, знизить експлуатаційні затрати, покращить динамічні і акустичні характеристики обладнання, дозволить здійснити на новому рівні автоматизацію і диспетчеризацію СТ.

Мета роботи. Метою роботи є формування технологічних вимог до частотно-регульованого приводу ВП систем теплопостачання, що дозволяє неперервне електричне дроселювання (без використання запірно-регулюючої арматури), доведення його перспективності і економічної доцільності.

Виклад основного матеріалу. Механічне дроселювання відцентрових pomp. Змінити гідравлічний режим роботи ВП можна зміною характеристики зовнішньої мережі, перепусканням води через обвідну лінію (байпас) помпи або мережі, дроселюванням потоку води запірно-регулювальною арматурою, зміною діаметрів робочого колеса або трубопроводу. Дроселювання спричиняє лише зменшення витрати води і є малоефективним, бо знижує коефіцієнт корисної дії ВП [11]. Характеристику теплової мережі, трубопроводів систем опалення, холодного і гарячого водопостачання можна зобразити виразом

$$H_m = H_0 + s_m Q_m^2, \quad (1)$$

де H_0 – гідростатичний напір, м; $s_m Q_m^2$ – втрати напору в мережі, м; s_m – характеристика мережі, $\text{м} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$; Q_m – витрата води, $\text{м}^3 / \text{с}$. Гідростатичний напір залежно від схеми мережі і місця установки помпи може враховувати геометричну висоту споживачів, перепад рельєфу, втрати напору в регуляторах тиску і погодних електронних регуляторах індивідуальних теплових пунктів споживачів [4, 9, 10], втрат напору на джерелі теплоти тощо.

Характеристику ВП при сталій частоті обертання робочого колеса можна наближено описати рівнянням

$$H_p = H_x - s_p Q_p^2, \quad (2)$$

де H_x – умовний напір помпи, м, при витраті $Q_p = 0$, напір холостого ходу; Q_p – витрата води (подача) помпи, $\text{м}^3 / \text{с}$; s_p – умовний внутрішній опір помпи, $\text{м} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$.

Сумісний розв'язок рівнянь (1) і (2) для двох різних режимів, показаний на рис. 1 точками А та В, які називають робочими точками. Зміна режиму роботи ВП при зміні характеристики мережі називається саморегулюванням [11].

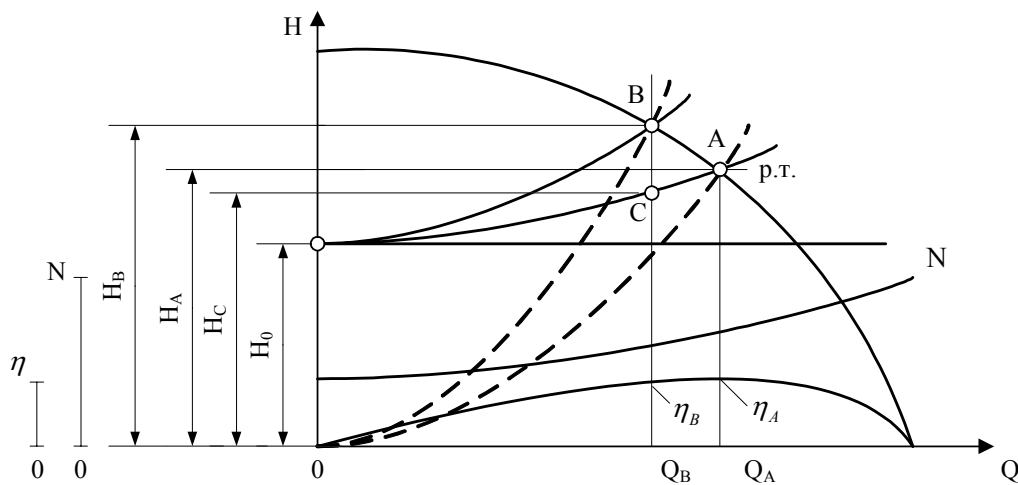


Рис. 1. Механічне дроселювання відцентрової помпи

Частота обертання ω , 1/с, число обертів за хвилину n , об/хв, подача Q , напір H , потужність N для двох суміжних режимів ВП зв'язані залежністю

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N_2}}. \quad (3)$$

Потужність помпи, Вт, на валу робочого колеса знаходиться як

$$N = \frac{Q_p H_p \rho g}{\eta}, \quad (4)$$

де ρ – густина води, $\text{кг} / \text{м}^3$; g – прискорення сили земного тяжіння, $\text{м} / \text{с}^2$; η – коефіцієнт корисної дії помпи.

Зміна ККД зі зміною частоти обертання описується співвідношенням [11]

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1 - \eta_1) \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^{0,17}}, \quad (5)$$

де індекси 1, 2 належать до двох порівнювальних режимів.

Статичний момент або момент опору на валу ВП, Н·м, визначається через потужність

$$M_{ст} = \frac{N}{\omega}. \quad (6)$$

Цей же момент можна подати як

$$M = M_T + (M_H - M_T) \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2. \quad (7)$$

де M_T – момент тертя в помповій устатці, Н·м; M_H – номінальний момент опору, Н·м, момент при найбільшому ККД; ω_H – номінальна кутова швидкість ВП, 1/с.

Нехтуючи M_T як малою величиною рівняння моментів (7) набуде вигляду

$$M = M_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2. \quad (8)$$

Залежність (8) зміни статичного моменту називають вентиляторною [6–8].

При переході помпи на режим із робочою точкою В потрібно подолати опір трубопроводу, який з урахуванням виразу (3) буде

$$\Delta H = H_B - H_C = H_A (1 - q^2), \quad (9)$$

де $q = Q_C / Q_A$.

Потужність, яка затратиться на цей перехід з урахуванням (4) і (9), буде

$$\Delta N = \frac{\rho g \Delta H Q_C}{\eta} = N_H (1 - q^2). \quad (10)$$

Найбільшу втрату потужності при механічному дроселюванні помпи отримуємо з умови

$$\frac{d(\Delta N)}{dt} = N_H q (1 - 3q^2) = 0, \quad (11)$$

де t – час, с.

Із виразу (11) знаходимо $q = \frac{\sqrt{3}}{3}$ а з (10):

$$\Delta N_{\max} = \frac{2\sqrt{3}}{9} N_H \approx 0,385 N_H. \quad (12)$$

Із характеристики помпи (рис. 1) видно, що $H_B > H_A$ і $\eta_B < \eta_A$, то втрати потужності ΔN будуть ще вищими (більшими за 38,5 %).

Треба зауважити, що механічне дроселювання ВП як спосіб регулювання допустиме лише в разі, коли споживана потужність зменшується із зменшенням подачі, тобто $\frac{dN}{dQ} > 0$. У протилежному випадку дроселювання як спосіб регулювання ВП не має сенсу, бо спричинить збільшення споживаної потужності.

Електричний спосіб регулювання подачі. Вартість енергії, яку споживає електродвигун середньої потужності за рік значно перевищує його власну вартість [1]. Заощадити електроенергію можна за рахунок впровадження частотно-керованих асинхронних електроприводів [4, 6–8].

Для приводів ВП дотепер використовували нерегульовані за швидкістю дешеві, прості і з високим ККД асинхронні двигуни. В окремих випадках регулювання ВП здійснювали дискретно (східчасто), зміною числа полюсів обмотки статора. Швидкість обертання ротора асинхронного двигуна, об/хв буде

$$n_p = \frac{60f}{p} (1-s) = n_c (1-s), \quad (13)$$

де f – частота струму мережі, Гц; p – кількість пар полюсів обмотки статора; s – ковзання, при повному навантаженні величина мала – не перевищує 1,5–2 %; n_c – число обертів магнітного поля статора (синхронна швидкість). Змінювати число обертів двигуна ротора можна, змінюючи частоту струму або кількість пар полюсів. Найпростіше регулювати швидкість обертання двигуна зміною числа пар полюсів p . Але таке регулювання може бути здійснене ступінчасто (стрибкоподібно) при числі пар полюсів, не більшому 4. Отже, найперспективнішим методом регулювання швидкості асинхронних електродвигунів є частотне регулювання. Однак разом із частотою струму електромережі треба керувати і напругою. Потрібний закон керування напругою кожної фази обмотки статора повинен задовольняти закон управління асинхронного електроприводу акад. М.П. Костенка [8]

$$\frac{U}{U_H} = \frac{f}{f_H} \sqrt{\frac{M}{M_H}}. \quad (14)$$

Оскільки кругова частота $\omega = 2\pi f$, то для вентиляторного характеру зміни статичного моменту із (14) з урахуванням (3) і (8) отримуємо

$$\frac{I}{I_H} = \frac{f}{f_H}, \quad \frac{U}{U_H} = \left(\frac{f}{f_H}\right)^2, \quad \frac{N}{N_H} = \left(\frac{f}{f_H}\right)^3, \quad (15)$$

де I , U , N – відповідно сила струму, напруга і потужність у довільному I_H , U_H , N_H – ці ж величини, але у номінальному режимі роботи електродвигуна. Оскільки керувати асинхронним електродвигуном із короткозамкнутим ротором зміною струму I ротора безпосередньо не можна, то застосовують регулювання зміною напруги U і частоти f струму. Регулюючи одночасно фазну напругу обмотки статора чи фазну напругу трифазного струму і частоту струму за правилами (15), досягнемо стійкої роботи, постійного коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, постійного абсолютного ковзання s і ККД.

Електромагнітна потужність приводного двигуна

$$N_{em} = N \frac{\omega_x}{\omega}, \quad (16)$$

де ω_x – кутова швидкість електродвигуна на холостому ході. З урахуванням (3) можна записати

$$N_{em} = N_H \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^3 \frac{\omega_x}{\omega} = N_H \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 \frac{\omega_x}{\omega_H}. \quad (17)$$

Нехтуючи втратами холостого ходу, які складаються із механічних втрат (втрат на тертя) і в сталі із (17), враховуючи (3), отримаємо

$$\Delta N = N_{em} - N = N_H \left[\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 \frac{\omega_x}{\omega_H} - \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^3 \right]. \quad (18)$$

Максимум функції (18) буде за умови

$$\frac{d(\Delta N)}{dt} = N_H \left[2 \frac{\omega_x}{\omega_H} \cdot \frac{\omega}{\omega_H} - 3 \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2 \right] = 0, \quad (19)$$

$$\text{Звідки} \quad \omega = \frac{2}{3} \omega_x.$$

Підставивши $\omega = \frac{2}{3} \omega_x$ в (18) і прийнявши, що $\omega_H \approx \omega_x$ дістанемо

$$\Delta N_{\max} = \frac{4}{27} N_H \approx 0,148 N_H, \quad (20)$$

що в 2,6 раза менше ніж при механічному дроселюванні.

Для приводів ВП, які не потребують жорсткої механічної характеристики, частоту приводу можна регулювати в діапазоні $D = \frac{\omega}{\omega_H}$ в межах $1,2 \geq D \geq 0,5$. За жорстких вимог до механічних характеристик діапазон регулювання може бути ширший [8]. Електричне дроселювання ВП в частотному діапазоні $D_{\max} \geq D \geq D_{\min}$, що відповідає граничному діапазону чисел обертів $n_{\max} \dots n_{\min}$ показано на рис. 2 і в каталозі pomp провідних фірм [5].

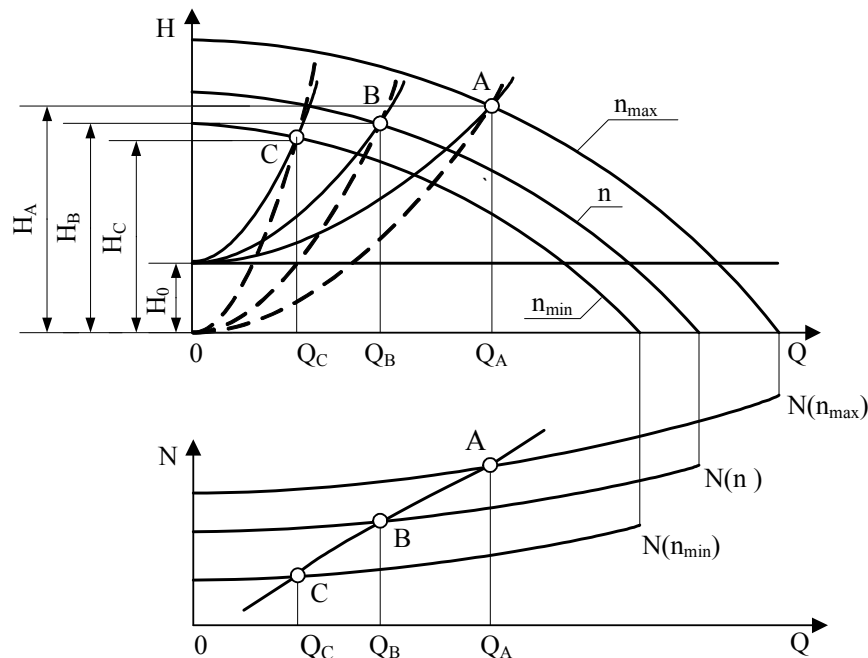


Рис. 2. Регулювання відцентрової помпи зміною частоти обертання

У системах теплопостачання витрати води упродовж доби змінюються і можуть набувати різних значень Q_i . Тоді при заміні нерегульованого електроприводу ВП на регульований економія електроенергії ΔW , кВт·год, буде становити

$$\Delta W = 10^{-3} \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{1i}}{\eta_{1i}} - \frac{N_{2i}}{\eta_{2i}} \right) \Delta t_i, \quad (21)$$

де N_{1i} , N_{2i} – відповідно потужність електроприводу ВП, Вт, із нерегульованою і регульованою швидкістю обертання на i -му інтервалі часу Δt_i , год, і подачею води Q_i ; η_{1i} , η_{2i} – ККД відповідно нерегульованого і регульованого електроприводу ВП; n – число сходок навантаження Q_i .

Висновки. Для підтримання потрібних технологічних параметрів відцентрових pomp, а саме: напору, витати води, коефіцієнта корисної дії рекомендується як привід використовувати асинхронні частотно-керовані електродвигуни із короткозамкнутим ротором. Енергозатратне механічне дроселювання в цих помпах необхідно замінити на електричне. Електричне дроселювання ВП потрібно здійснювати ступінчасто або неперервно. Встановлено, що втрати потужності при електричному дроселюванні нижчі, ніж при механічному. Виявлені максимальні величини втрат потужності при цих двох способах дроселювання. Застосування керованого або частотно-керованого приводу відцентрової помпи призводить до значної економії електроенергії у самому приводі і при транспортуванні теплоносіїв.

1. Браславський І.Я., Ішматов З.Ш. Реалізація енергоощадних технологій на основі регульованих асинхронних електроприводів // Електроінформ. – 2003. – № 1. – С. 11–14. 2. Бурос К., Хомко В. Зменшення енерговитрат при експлуатації систем водопостачання України // Ринок інсталяцій. –

2002. – № 1. – С. 14–16. 3. Венгльовський В. До вибору параметрів відцентрових помп систем тепlopостачання // Управління енерговикористанням: 2-га Міжнар. наук.-практ. конф. – Львів, 1997. – С. 89. 4. Єндраль В. Вплив погодних регуляторів на співпрацю джерела теплоти з міською мережею тепlopостачання // Ринок інсталяцій. – 2003. – № 4. – С. 7–9. 5. Каталог насосного обладнання 2002/2003. Насосы с мокрым ротором. Совершенство не только в насосах... Wilo: Видавничий центр “Точка зору”, 2002. – 254 с. 6. Колотило В. Д. Динаміка процесу транспортування води по магістральних водоводах з використанням електроприводу, що регулюється: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харків, 2001. – 20 с. 7. Момот В.Ю., Видмиш А.А. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Ч. 1. Автоматизований електропривод механізмів неперервної дії: Навч. посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2000. – 129 с. 8. Плахтина О.Г., Мазепа С.С., Куцик А.С. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2002. – 228 с. 9. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Н.Н. Чистяков, М.М., Грудзинский, В.И. Ливчак, Е.И. Прохоров. – М.: Стройиздат, 1980. – 270 с. 10. Соколов Е.Я., Черепанова В.А. Выбор рациональных схем включения и экономических режимов работы сетевых насосных установок ТЭЦ в летний период // Изв. вузов Энергетика. – 1989. – № 1. – С. 62–68. 11. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учеб. для теплоэнергетических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

УДК 629.113.06:628.83

О.Т. Возняк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання та вентиляції

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧИХ МАЛОВИСОТНИХ ПРИМІЩЕННЯХ НАСТИЛЬНИМИ НЕІЗОТЕРМІЧНИМИ СТРУМИНАМИ

© Возняк О.Т., 2004

Описані результати експериментальних досліджень розподілу повітря у виробничих маловисотних приміщеннях настільними неізотермічними струминами. Побудовані відповідні графіки, які апроксимовані аналітичними залежностями. Показана висока ефективність повітророзподілу настільними неізотермічними струминами у виробничих приміщеннях.

In this article the results of air distribution in industrial low-heighted rooms by spread non-isothermal jets experimental investigations are presented. Adequate charts are composed, which are approximated by analytic equations. High efficiency of air distribution by spread non-isothermal jets in manufacturing rooms is shown.

Постановка проблеми. Самопочуття і працездатність людини залежить від того, наскільки санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату виробничих приміщень відповідають її фізіологічним потребам. У робочій зоні таких приміщень повинні витримуватись нормовані параметри повітря: температура, вологовміст, швидкість руху повітря, шум, запиленість, запахи тощо. Умови комфорту визначаються передовсім температурою повітря та його швидкістю руху. Ці величини забезпечуються засобами вентиляційної техніки і залежать від прийнятої організації повітрообміну та схеми повітророзподілу. Варто зауважити, що повітряні потоки зазнають збурення у зв'язку з наявністю технологічного обладнання та обслуговуючого персоналу, якщо приміщення є малої висоти. Це такі приміщення, в яких значна частина робочої зони знаходиться в прямому потоці припливної струмини.