

с англ. – М., 1974. 5. Чугаев Р.Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости): Учебник для вузов. – Л., 1982. 6. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – К., 1984. 7. Александров В.А. Уравнения движения несжимаемой жидкости, находящейся под суммарным воздействием консервативных и неконсервативных сил // Гидравл. приводы и элементы гидропневмоавтомат: Сб. научн. тр. – М., 1984. – С.109–117. 8. Носко С.В., Ковалев В.А. Методика гидродинамического расчета смазочных систем машиностроительного оборудования // Вестн. Нац. техн. ун-та “КПИ”. Машиностроение. – 2002. – Вып. 42. Т.1. – С.93–94. 9. Анискин Ю.В. Влияние гидродинамики потока гидросмеси с мелкими частицами на износ местных сопротивлений типа внезапного расширения и сужения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.278 / МИСИ. – М., 1972. – 14 с. 10. Харитонов В.П., Мочалин Е.В. Винтовой поток в каналах переменного сечения / НИ проект.-конструкт. ин-т “Параметр”. – Алчевск, 1994. – 10 с. – Деп. в ГНТБ Украины 17.10.94, № 2062-Ук94. 11. Чернюк В.В., Пицишин Б.С., Орел В.И., Жук В.М. Влияние добавок полиакриламида на потери напора во внезапных сужениях и расширениях труб // Инж.-физ. журн. – 2002. – Т.75, № 4. – С.115–122. 12. Молло-Кристенсен. Физика турбулентных течений // Ракетная техника и космонавтика. – 1971. – Т.9, № 7. – С.3–16. 13. Карев В.Н. Потери напора при внезапном сужении трубопровода и влияние местных сопротивлений на нарушение потока // Нефтяное хозяйство. – 1953. – № 8. – С.50–56. 14. Альтиуль А.Д., Везирян Р.Е. Исследование потерь напора при внезапном сужении трубопровода // Гидравлика однородных и неоднородных жидкостей: Сб. тр. МИСИ. – 1972. – № 89. – С.8–12. 15. Гнатів Р.М. Вплив добавок поліакриламідю на гідравлічні опори раптових звужень труб // Вісн. ЛПІ “Теплоенергетичні системи та пристрої”. – 1992. – № 266. – С.27–32. 16. Иньков А.П., Ярхо С.А. К расчету местных коэффициентов гидравлического сопротивления // Науч. тр. Всес. заочн. машиностроит. ин-та. – 1973. – Вып.9. – С.167–176. 17. Орел В. Застосування формули зміни діаметра струменя рідини стосовно раптового розширення трубопроводу // Вісн. НУ “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”. – 2001. – № 432. – С.11–14. 18. Гришин Ю.А. Метод расчета отрывного течения // Изв. вузов. Машиностроение. – 1983. – № 5. – С.79–84.

УДК 697.9:621.63:533.6:62-83

В. Венгльовський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ У ВЕНТИЛЯТОРНИХ УСТАНОВКАХ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

© Венгльовський В., 2005

In this article the technological requirements to performances of radial ventilators of systems hot-air heating, ventilation and conditioning are formulated. The analysis of existent methods throttling of radial ventilators is held.

Постановка проблеми. Витрати повітря і тиски в системах повітряного опалення, вентиляції та кондиціювання можуть залишатися як сталими, так і змінними. Для переміщення повітря використовують переважно радіальні та осьові вентилятори. Дотепер в існуючих приводах вентиляторів невеликої потужності використовувались електромотори з постійною або ступінчастозмінною частотою обертання. Вентилятори з такими приводами не повною мірою уможливають забезпечити технологічні параметри, підтримати потрібні тиски та витрати повітря, автоматизувати їх роботу.

За таких змін частоти обертання вентиляторів не завжди вдається досягти необхідних тисків і подач повітря; доводиться працювати при навантаженнях, нижчих за номінальні, часто вмикати і вимикати електромотори, а це призводить до перевитрат електроенергії і здорожчання систем.

Найбільшого поширення у вищезазначених системах набули відцентрові або радіальні вентилятори (РВ). Зменшити споживання електроенергії у вентиляторних установках можна припасуванням характеристик вентиляторів до характеристик мережі.

Змінювати тиск і продуктивність вентилятора можна як за сталої, так і за змінної частоти обертання робочого колеса вентилятора. Найперспективнішим є регулювання вентиляторів із використанням асинхронного приводу із плавним частотним регулюванням електромотора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1–10] розглянуто роботу відцентрових нагнітачів з їх приводами та подачу ними повітря у системи опалення, вентиляції та кондиціювання. У цих системах переважали радіальні вентилятори із нерегульованими приводами. Такі вентилятори допускають роботу за змінних тисків і витрат повітря, але з пониженими коефіцієнтами корисної дії (ККД) установок. Навіть нетривала експлуатація вентиляторів з малими ККД призводить до перевитрат електроенергії як у самому приводі, так і у вентиляційних мережах. Із розвитком теорії керування приводів з асинхронними моторами [1, 4, 8, 10] стає можливим застосування їх в опалювальних та вентиляційних системах [2, 9].

Електропривід радіальних вентиляторів з частотним регулюванням дає змогу змінювати подачу і тиск у потрібних діапазонах і за високих ККД, близьких до оптимальних. Частотно-керовані мотори РВ зменшують споживання електроенергії як у моторі, так і під час перекачування повітря у мережах, і є найперспективнішими сьогодні [4, 10].

Впровадження частотно-керованих асинхронних моторів дає змогу знизити експлуатаційні затрати, узгодити характеристики мереж повітропроводів і вентилятора, підвищити динамічні характеристики обладнання, здійснити на новому рівні автоматизацію систем опалення, вентиляції та кондиціювання повітря.

Мета роботи – виявлення перспективи та економічної доцільності при застосуванні частотно-регульованого приводу РВ у системах повітряного опалення, вентиляції та кондиціювання.

Виклад основного матеріалу. Вентилятор, що працює на вентиляційну мережу, повинен забезпечити розрахункові тиски і витрати повітря. При цьому необхідно управляти системою вентилятор - вентиляційна мережа. Об'єктом управління може бути як мережа, так і вентилятор. Регулювання здійснюють зміною або характеристики мережі, або вентилятора. Характеристикою вентиляційної мережі є втрати тиску у ній

$$p_m = p_0 + s_m Q_m^2, \quad (1)$$

де p_0 – аеростатична складова тиску, Па; s_m – характеристика опору мережі, $\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$; Q_m – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$. Величиною p_0 як малою нехтуємо. Тоді характеристика мережі буде

$$p_m = s_m Q_m^2, \quad (2)$$

і являтиме собою параболу, що проходить через початок координат (рис. 1).

Характеристику РВ за сталої частоти обертання робочого колеса можна наближено подати як

$$p_e = p_x - s_e Q_e^2, \quad (3)$$

де p_x – умовний тиск РВ за витрати $Q_e = 0$, тиск неробочого ходу, Па; s_e – характеристика внутрішнього опору вентилятора, $\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$; Q_e – продуктивність (подача) вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Сумісний розв'язок рівнянь (2) і (3) для двох різних режимів показаний на рис. 1 точками А і В, які називаються робочими. Характеристика РВ за виразом (3) є неперервно падаючою. Однак за малих подач повітря може бути вигин характеристики, що спричиняє автоколивання тиску повітря. Такі коливання тиску повітря називають помпажем [6]. У зоні помпажу робота РВ є нестійкою і її потрібно уникати.

Частота обертання ω , 1/с, кількість обертів за хвилину n , об/хв, подача Q , напір H , втрати тиску p , потужність N для двох суміжних режимів РВ пов'язані залежністю

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N_2}}. \quad (4)$$

Потужність вентилятора, Вт, на валу робочого колеса знаходять як

$$N = \frac{Q_6 p_6}{\eta}, \quad (5)$$

де η – коефіцієнт корисної дії вентилятора.

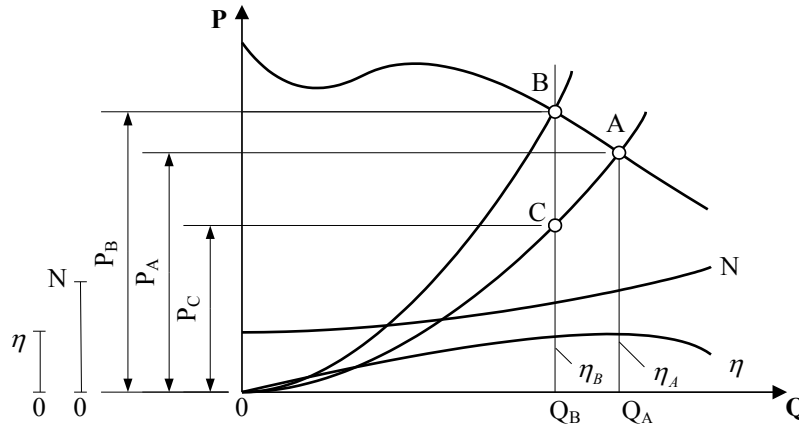


Рис. 1. Побудова характеристик вентилятора і мережі під час дроселювання

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

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

З урахуванням (4) і (6) можна записати відношення

$$\frac{N}{N_n} = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^3 = \frac{(M_{ст} - M_m)\omega}{(M_n - M_m)\omega_n}, \quad (7)$$

де M_m – момент тертя у вентиляторній установці, Н·м; M_n – номінальний момент опору, Н·м, момент за найбільшого ККД; ω_n – номінальна кутова швидкість РВ, 1/с.

Нехтуючи M_m як малою величиною із (7), отримаємо

$$M_{ст} = M_n \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2. \quad (8)$$

Залежність (8) зміни статичного моменту називають вентиляторною (рис. 2) [1, 4, 8, 10].

Механічні характеристики асинхронного мотора з частотним регулюванням частоти обертання і під час вентиляторного навантаження будуються за каталожними даними моторів за методикою, наведеною у [4, 10].

При переході РВ на режим із робочою точкою В потрібно подолати опір повітропроводів, який з урахуванням виразів (3), (4) буде

$$\Delta p = p_B - p_C = \frac{l}{1-a} p_A (1-q^2), \quad (9)$$

де $q = Q_B / Q_A$, $a = s_6 Q_A^2 / p_x$, величина a мала і становить 0,05 – 0,15.

Потужність, яка затратиться на цей перехід з урахуванням (5) і (9), буде

$$\Delta N = \frac{\Delta p Q_B}{\eta} = \frac{N_n}{1-a} q (1-q^2). \quad (10)$$

Найбільшу втрату потужності під час механічного дроселювання вентилятора отримаємо з умови $d(\Delta N) / dq = 0$, що має місце при $q = \sqrt{3} / 3$.

Із виразу (10) знаходимо

$$\Delta N_{max} = \frac{2\sqrt{3}}{9} \frac{N_n}{1-a} \approx (0,405 \dots 0,453) N_n. \quad (11)$$

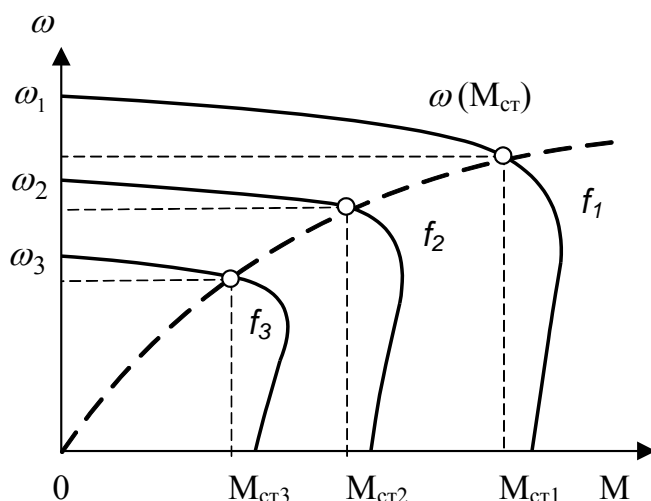


Рис. 2. Механічні характеристики асинхронного мотора з частотним регулюванням частоти обертання і за вентиляторним навантаженням

Із характеристики вентилятора (рис. 1) зрозуміло, що $p_B > p_A$, $\eta_B < \eta_A$, тоді втрати потужності ΔN будуть ще вищими (більшими за 40,5 %).

Необхідно зауважити, що механічне дроселювання РВ як спосіб регулювання допустиме лише у випадку, коли споживана потужність зменшується із зменшенням подачі, тобто $\frac{dN}{dQ} > 0$. У

протилежному випадку дроселювання як спосіб регулювання РВ не має сенсу, оскільки викличе збільшення споживаної потужності.

Вартість енергії, яку споживає електромотор середньої потужності за рік, значно перевищує його власну вартість [1]. Заощадити електроенергію можна за рахунок впровадження частотно-керованих асинхронних електроприводів [1–4, 8–10].

Для приводів РВ до цього часу використовували нерегульовані за швидкістю дешеві, прості і з високим ККД асинхронні мотори. В окремих випадках регулювання РВ здійснювали дискретно (східчасто), зміною кількості полюсів обмотки статора. Кутова швидкість ротора асинхронного мотора, $1/s$, буде

$$\omega = \frac{2\pi f}{p} (1-s) = \frac{\omega_c(1-s)}{p}, \quad (12)$$

де f – частота струму мережі, Гц; p – кількість пар полюсів обмотки статора; s – ковзання, за повного навантаження величина мала – не перевищує 1,5–2 %; ω_c – кутова швидкість магнітного поля статора (синхронна швидкість).

Змінювати кутову швидкість ротора мотора можна, змінюючи частоту струму або кількість пар полюсів. Найпростіше регулювати швидкість обертання мотора зміною кількості пар полюсів p . Але таке регулювання може бути здійснене ступінчасто (стрибкоподібно) за кількості пар полюсів, не більшій, ніж 4. Отже, найперспективнішим методом регулювання швидкості асинхронних електромоторів є частотне регулювання. Однак разом із частотою струму електромережі необхідно управляти і напругою. Потрібному закону управління напругою кожної фази обмотки статора повинен задовольняти закон управління асинхронного електроприводу акад. Костенка М.П. [4, 8].

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M}{M_n}}. \quad (13)$$

Оскільки кругова частота $\omega = 2\pi f$, то для вентиляторного характеру зміни статичного моменту із (13) з урахуванням (4) і (8) отримаємо

$$\frac{I}{I_n} = \frac{f}{f_n}, \quad \frac{U}{U_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^2, \quad \frac{N}{N_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^3, \quad (14)$$

де I, U, N – відповідно сила струму, напруга і потужність в довільному, а I_n, U_n, N_n – ці самі величини, але у номінальному режимі роботи електромотора. Оскільки керувати асинхронним електромотором 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 (14), досягнемо стійкої роботи, постійного коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, постійного абсолютного ковзання s і ККД.

Нехтуючи втратами неробочого ходу, які складаються із механічних втрат – втрат на тертя і в сталі, втрати потужності під час регулювання швидкості електромотора з урахуванням (8) можна подати як

$$\Delta N = M_{cm} (\omega_x - \omega) = M_n \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 (\omega_x - \omega). \quad (15)$$

Найбільших втрат потужності, тобто максимуму функції (15), досягаємо за умови

$$\frac{d(\Delta N)}{d\omega} = \frac{M_n \omega}{\omega_n^2} (2\omega_x - 3\omega) = 0, \quad (16)$$

звідки $\omega = \frac{2}{3} \omega_x$. Підставивши це значення у (15) і прийнявши, що $\omega_n \approx \omega_x$, дістанемо

$$\Delta N_{max} = \frac{4}{27} N_n \approx 0,148 N_n, \quad (17)$$

що приблизно у 2,74 раза менше ніж під час механічного дроселювання – дроселювання мережі.

Жорсткість характеристики РВ, яка визначається величиною dp/dQ , впливає на потужність його електромотора. Під час регулювання вентилятора з м'якою характеристикою потрібне швидше наростання потужності мотора порівняно з вентилятором із жорсткою характеристикою ($\Delta N_m > \Delta N_{ж}$), оскільки $(dp/dQ)_m > (dp/dQ)_{ж}$, де індекси відповідають м'якій і жорсткій характеристикам.

Діапазон регулювання РВ можна подати відношенням $D = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$, а з урахуванням співвідношень (4) буде

$$D = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} = \frac{Q_n}{Q_{min}} = \frac{\omega_n}{\omega_{min}} = \frac{n_n}{n_{min}}. \quad (18)$$

Для приводів РВ, які не потребують жорсткої механічної характеристики, частоту приводу можна регулювати в межах $2 \geq D \geq 1$. При жорстких вимогах до механічних характеристик діапазон регулювання може бути ширший [4, 8]. Регулювання РВ в частотному діапазоні $D_{max} \geq D \geq D_{min}$ відповідає граничному діапазону кількості обертів $n_{max} \dots n_{min}$.

Для оцінки ефективності роботи вентиляційної установки знайдемо її ККД:

$$\eta_{в.у.} = \eta_{рег} \cdot \eta_v \cdot \eta_m, \quad (19)$$

де $\eta_{рег}$ – ККД заданого способу регулювання; η_v, η_m – відповідно ККД вентилятора і електромотора.

Під час регулювання подачі РВ дроселюванням за умови, що ККД вентилятора і мотора не змінюються при зміні подачі, $\eta_{рег}$ можна оцінити величиною

$$\eta_{\text{рег}} = \frac{P_A}{P_B} \left(\frac{Q_B}{Q_A} \right)^2 < \left(\frac{Q_B}{Q_A} \right)^2, \quad (20)$$

оскільки $P_A < P_B$. Отже, $\eta_{\text{рег}}$ знижується приблизно квадратично від діапазону регулювання подачі D .

Під час електричного регулювання $\eta_{\text{рег}} = 1$, бо втрати енергії, зумовлені дроселюванням, відсутні.

Висновки. Як привід відцентрових вентиляторів рекомендується використовувати асинхронні частотно-керовані електромотори із короткозамкнутим ротором. Енергозатратне механічне регулювання в цих вентиляторах необхідно замінити на електричне. Встановлено, що втрати потужності під час електричного регулювання нижчі, ніж під час механічного.

1. Браславський І.Я., Ішматов З.Ш. Енергозаощадження завдяки регульованим асинхронним електроприводам // Ринок інсталяцій. – 2003. – №9. – С. 12–14. 2. Вахвахов Г.Г. Энергоснабжение и надежность вентиляционных установок. – М., 1989. 3. Венгльовський В. До вибору параметрів відцентрових помп систем теплопостачання: II Міжнародна наук.-практ. конференція. Управління енерговикористанням. – Львів, 1997. – С. 89. 4. Електричні машини та електропривід побутової техніки: Підручник / М.Г. Попович, Л.Ф. Артеменко, О.П. Бурмістенков та ін. – К., 2004. 5. Жуковський С.С., Лабай В.Й. Аеродинаміка вентиляції: Навч. посібник. – Львів, 2003. 6. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: Учеб. пособие для вузов. – М., 1987. 7. Наладка и регулирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие / Б.А. Журавлёв, Г.Я. Загальський, Ф.Н. Гобза и др. – М., 1980. 8. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб и доп. – М., 1982. 9. Центральные кондиционеры: Каталог фирмы JUWENT. – Руки (Польща), październik 2003. – 70 s. 10. Чабан В. Електротехніка: Навч. посібник. – Львів, 2002.

УДК 628.29

В. Жук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

ЧАС ПОВЕРХНЕВОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ СТОКУ ДЛЯ ДОЩІВ ПОСТІЙНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ТА ЛІНІЙНИХ БАСЕЙНІВ СТОКУ

© Жук В., 2005

The main time parameter which one influences very strongly on the stormwater discharge is the time of surface runoff concentration. In the paper are obtained analytical and numerical expressions for calculating the surface concentration time for rains with the constant intensity for linear watersheds.

Вступ. Розрахунок мереж дощового водовідведення у вітчизняній інженерній практиці здійснюється за методом граничної інтенсивності [1]. Одним з найважливіших параметрів, що характеризують конкретний басейн стоку, є так звана розрахункова тривалість дощу або час концентрації стоку. Це – найдовший час, необхідний частинці рідини для проходження від найвіддаленішої з гідравлічної точки зору ділянки басейну стоку до розрахункового перерізу. Оскільки від значення часу концентрації стоку залежить максимальна витрата дощових вод, гідрограф притоку і весь наступний гідравлічний розрахунок мережі дощового водовідведення та споруд на них, то достовірне визначення цієї величини має принципове значення для адекватного науково обґрунтованого проектування систем дощового водовідведення.

1. Методика визначення часу концентрації дощового стоку

Час концентрації стоку t_r за визначенням знаходиться як сума тривалості протікання для всіх послідовно з'єднаних ділянок в напрямку руху атмосферних стічних вод: від найбільш віддаленої