

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОМЕХАНІЗМІВ

Показано, що турбомеханізми є енергоємними в порівнянні з іншими технологічними об'єктами і агрегатами підприємства. Виконано порівняння втрат споживання електричної енергії вентиляторами, використовуючи паспортну номінальну корисну гідравлічну потужність з одної сторони і враховуючи з іншої сторони максимальні та мінімальні значення статичних коефіцієнтів корисної дії, статичного тиску та обсяги повітря, що відповідають значенням параметрів вентилятора в точках характеристик. При цьому розрахунок виконано для 25 режимів. Надані результати виконаних розрахунків, які визначають залежність енергоспоживання турбомеханізмами, які залежать від технічних параметрів і режимів роботи та може змінюватися в десятки разів.

Ключові слова: Газоповітряний потік, турбомеханізми, питоме енергоспоживання, мережа живлення, залежність, ефективність.

Постановка проблеми. Електричну енергію у сучасному розвиненому суспільстві широко застосовують у виробничій сфері, сільському господарстві та побуті. Тепер навіть уявити важко, яким було б життя людей в умовах відсутності електроенергії. За її допомогою забезпечується виконання як основних, так і допоміжних технологічних операцій, шляхом використання різних механізмів і агрегатів. До такого обладнання відносяться турбомеханізми: вентилятори, насоси, повітродувки, димососи, компресори та інші. Такі турбомеханізми, як димососи та вентилятори використовуються на фабриках огрудування в конвеєрних випалювальних машинах, а для нагнітання або видалення повітря в шахтах, в кар'єрах, або підприємствах гірничо-збагачувального комплексу, у металургійному виробництві та житлово-комунальному господарстві - вентилятори різної потужності. Як показують дослідження турбомеханізми знаходять масове застосування, тому їх відносять до механізмів, котрі споживають значну частину електроенергії, що виробляється в країні, та в основному витрачається на електричний привід цих механізмів. Технічна досконалість турбомеханізмів у технологічному процесі в значній мірі визначають їх раціональне використання електроенергії, а економічність - дозволяє виконувати роботу, необхідну за технологічними умовами, з високими енергетичними показниками та найменшими енергетичними затратами. Так, як турбомеханізми є енергоємними в порівнянні з іншими технологічними об'єктами та агрегатами підприємства, то вони потребують уточнення витрат електроенергії при різних навантаженнях і режимах роботи. Це надасть можливість визначити шляхи удосконалення по витратам електроенергії, так як раціональне використання та економне витрачання первинної енергії, що є актуальною задачею для гарантування сталого розвитку, що дозволить зменшити її використання, тобто знизити собівартість готової продукції. Тому тема статті є актуальною і має наукове й практичне значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Складність зняття реальних показників навантаження при забезпеченні турбомеханізмами технологічних режимів не дозволяє отримати контрольовані дані, які можуть бути використані для введення у систему автоматичного керування з метою економії електроенергії. Як показують дослідження, сучасний стан автоматизації турбомеханізмів не дає у повній мірі визначити шляхи економії електроенергії. На сьогоднішній день активно проводяться дослідження в області створення ефективних методів та засобів окремих механізмів і агрегатів, що не дозволяють комплексно для класу турбомеханізмів вирішити дану проблему. Так, наприклад, тема енергозбереження та енергоефективності розглядається окремо при роботі вентиляторних установок і є однією з основних тем, що в даний час обговорюються фахівцями. [1-9]. Як показує аналіз відомих способів і пристроїв для керування електроспоживання різними механізмами, що відносяться до турбомеханізмів, кількість публікацій збільшується. Більших із них використовуються для зниження непродуктивних витрат електроенергії побутовими і виробничими споживачами. Так, наприклад, існує два способи покращення економічності роботи вентиляторів при часткових навантаженнях. Перший – зміна

швидкості обертання колеса вентилятора, другий – використання направлених апаратів, які впливають на гідравлічну роботу вентилятора при постійній швидкості обертання. Проте таке керування вентиляторної установки забезпечує не значну економію споживої електроенергії з мережі живлення [4-10].

Масштабні дослідження та розробка різних способів управління турбомеханізмами по збереженню витрат енергоносіїв, що витрачаються на виконання технологічних операцій, проводяться як за кордоном, так і в нашій країні при участі провідних технічних вузів, багатьох підприємств та організації [1-4]. Так проведені наукові дослідження параметрів провітрювання діючих шахт за тривалий період їх експлуатації показали, що понад 40% шахт мають великий діапазон зміни кількості повітря, яке подається в підземні вироблення для їх провітрювання, а тиск для переміщення повітря по виробках змінюється в два і більше разів. Це призводить до того, що більш половини всіх вентиляторів працюють з ККД нижче 0,6. Експлуатація безперервно цілодобово працюючого вентилятора з низьким ККД призводить до надмірно великої витрати електроенергії. Знизити невиправдані витрати електроенергії можна, використовуючи на вентиляторах регульований електропривод. Наукові розробки та досвід експлуатації електрообладнання регульованого електроприводу на вентиляторних установках показав доцільність їх застосування, як з точки зору економічності роботи вентилятора, так і з точки зору настройки вентилятора на заданий режим роботи. Це відмічається у підготовленій НАН України праці «Стратегія енергозбереження в Україні ...», яка видана в 2006 році [11]. Як вказано у цій праці, важлива роль у вирішенні цієї проблеми належить електроприводу, що споживає близько 70% всієї вироблюваної електроенергії.

Відомий спосіб, який дозволяє зменшити кількість спожитої електроенергії з мережі живлення за рахунок використання додаткової електроенергії, що отримується із енергії газоповітряного потоку відпрацьованих, вивільнених або видуваних вентилятором технологічної установки [12-14].

Формулювання мети роботи. Метою даної статті є виконати аналіз енергетичних характеристик по витратах електричної електроенергії існуючих турбомеханізмів при роботі в різних режимах та навантаженнях, щоб встановити реальне електроспоживання з мережі живлення цим обладнанням, обґрунтувати та намітити шляхи його зниження.

Викладення матеріалу та результати. Для визначення споживаємої електричної енергії з живлячої мережі турбомеханізмами в різних режимах роботи розглянемо з них: вентилятори головного провітрювання для шахт (ВГП), часткового провітрювання та загального призначення; вентилятори газових котлів; димососи для конвеєрних випалювальних машин і котлів.

На залізрудних шахтах Криворізького басейну для провітрювання підземних виробок і поверхневих споруд застосовуються ВГП, вентилятори часткового провітрювання та вентилятори загального призначення. ВГП, що забезпечують подачу повітря всій шахті, відносять до головних вентиляторів, а забезпечення повітрям її крил належить допоміжним вентиляторам. ВГП є стаціонарним електромеханічним обладнанням шахт і призначені для руху повітряного струменя, що надходить в підземні виробки шахт. До допоміжних вентиляторів відносяться підземні вентилятори, які обслуговують один або кілька експлуатаційних дільниць або блоків, періодично переносяться в міру посунання гірничих робіт. Різновидом вентиляторів для часткового провітрювання являються прохідницькі вентилятори, що призначені для провітрювання забоїв, стовбурів і пристовбурних виробок.

Вентилятори загального призначення, або як їх називають сантехнічними, застосовуються для переміщення повітря в системах припливно-витяжної вентиляції виробничих приміщень збагачувальних фабрик або фабрик огрудування, котельних агрегатів, калориферних установок, тощо. Для агломераційного виробництва та інших цехів металургійного заводу характерно широке використання ексгаустерів, димососів, повітродувок, турбокомпресорів. На агломераційних машинах стрічкового типу для випалу агломерату, або конвеєрних машин для випалу котунів газу, що відходять, відсмоктуються ексгаустерами (димососами), тобто вентиляторам, зазвичай відцентрових, що працюють на всмоктування, для видалення димових газів, пилу та інших шкідливих домішок. Відповідно такі технологічні машини розділяють на технологічні зони для кращого використання тепла. Зони перекриті зверху спеціальними секціями горна та тепловий режим у кожній секції встановлюють, як правило, незалежно від режиму інших секцій. Газу з кожної зони відсисаються окремими димососами.

Класифікація газових котлів для опалення достатньо велика і різноманітна та відноситься до

традиційних пристроїв, що не відчують кардинальних змін ось уже багато років. За типом розміщення вони бувають настінними та підлоговими. Цей вид опалювальної техніки з'явився порівняно недавно, але вже встиг здобути чималих впроваджень. Котел газовий опалювальний настінного типу називають ще міні-котельні. І це не випадково: в невеликому корпусі ховається не тільки теплообмінник, палик і пристрій управління, система безпеки, розширювальний бак, термометр, манометр, а й використання вентиляторів або димососів (ВГК). За способом виведення відпрацьованих газів котли діляться на зразки з примусовою і природною тягою. У першому випадку видалення продуктів розпаду відбувається за допомогою вбудованого вентилятора, у другому - за рахунок тяги димаря. Теплообмінник виготовляється зазвичай із сталі або чавуну. Виділяють підлогові газові котли з надувними (змінними вентиляторами) і атмосферними палинками. Перші - мають більш високий ККД і більш високу вартість. Другі - дешевше, та й працюють набагато тихіше.

Для електричного приводу ВГП використовують синхронні і асинхронні електродвигуни з фазовим або короткозамкненим ротором, які відносяться до основних споживачів електричної енергії. Для порівняння спожитої електроенергії вибрані шахтні вентилятори типів ВЦ, ВЦД і ВОД потужністю від 125 кВт до 1600 кВт з частотою обертання валу від 375 об/хв. до 1500 об/хв., для газових котлів - ВЦ, ВЦД і ВОД потужністю від 125 кВт до 1600 кВт з частотою обертання валу від 375 об/хв. до 1500 об/хв. та вентиляторів типів RR, R2E і WWK потужністю від 10 кВт до 75 кВт з частотою обертання валу від 2400 об/хв. до 2840 об/хв., а для димососів - ДН, Д, ДОД, ГД і ДГР потужністю від 11 кВт до 1600 кВт з частотою обертання валу від 600 об/хв. до 1500 об/хв.

Витрати споживання електричної енергії для будь-якої вентиляторної установки (турбомеханізму) визначають наступним чином:

$$P_{\text{вит}} = \left[\frac{P_{\text{ву}} \times N_{\text{год}}}{100} \right] \times N_{\text{дн}} \times N_{\text{рік}} \quad (1)$$

де $P_{\text{ву}}$ - номінальна корисна гідравлічна потужність, кВт;

$N_{\text{год}}$ - кількість годин роботи вентиляторної установки, год;

$N_{\text{дн}}$ - кількість днів в місяці роботи вентиляторної установки, дн.;

$N_{\text{рік}}$ - кількість днів в рік роботи вентиляторної установки, дн.;

Вентилятори ВГП працюють в рік практично цілодобово, за винятком святкових днів та їх технічного обслуговування, що в середньому на рік складає $N_{\text{рік}} = 360$ днів. При цьому $N_{\text{год}}$ дорівнює 24 год, а $N_{\text{дн}}$ відповідно 30 днів у місяці, інші вентилятори мають інші терміни роботи. Параметр вентилятора $P_{\text{ву}}$, що характеризує гідравлічну потужність, передану вентилятором переміщуваного їм повітря і визначається в загальному випадку за формулою:

$$P_{\text{ву}} = Q \times p_s / 1000 \quad (2)$$

У формулі 2 прийнято: Q - обсяг повітря, що протікає в одиницю часу через вентилятор, віднесений до умов всмоктування. Відповідає об'ємній витраті повітря, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; p_{sv} - статичний тиск, Па, що є різницею між повним тиском і динамічним тиском, розрахованим по середньо-видатковій швидкості повітряного потоку на виході з дифузора вентилятора.

Для вентиляторів, вибраних порівняння, розраховано по формулі (1) втрати споживання електричної енергії, використовуючи паспортну номінальну корисну гідравлічну потужність. Проте, для визначення реального споживання електроенергії, наприклад, для ВГП необхідно враховувати найбільш раціональні та ймовірні режими їх експлуатації. Для цього розраховано питоме енергоспоживання ВГП, що визначається в нормальній області режимів роботи вентиляторів, використавши методику, наданої в [15] та зведеного графіка аеродинамічних характеристик, побудованого відповідно з додатком 3 наданого в цьому ж документі. Для зведеного графіка використовуємо максимальні та мінімальні значення статичних коефіцієнтів корисної дії η_{si} , статичного тиску p_{svi} та обсяги повітря Q_i , що відповідають значенням параметрів вентилятора в точках характеристик для 25 режимів.

Питоме енергоспоживання E_i визначається для різних режимів роботи вентилятора та дорівнює відношенню потужності N_i , споживаної вентилятором при роботі в цій точці характеристики, до корисної гідравлічної потужності

$$E_i = \frac{N_i}{P_i} = \frac{Q_i \times p_{svi}}{1000 \times \eta_{si}} \quad ; \quad \frac{Q_i \times p_{svi}}{1000} = \frac{1}{\eta_{si}} \quad (3)$$

де Q_i, p_{svi}, η_{si} - значення параметрів вентилятора в точці характеристики. Розрахунок питомого енергоспоживання вентилятора проводиться за формулою:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{25} E_i}{25} \quad (4)$$

Результати порівнянь характеристик для різних типів турбомеханізмів, представлені на рис.1 у відносних одиницях.

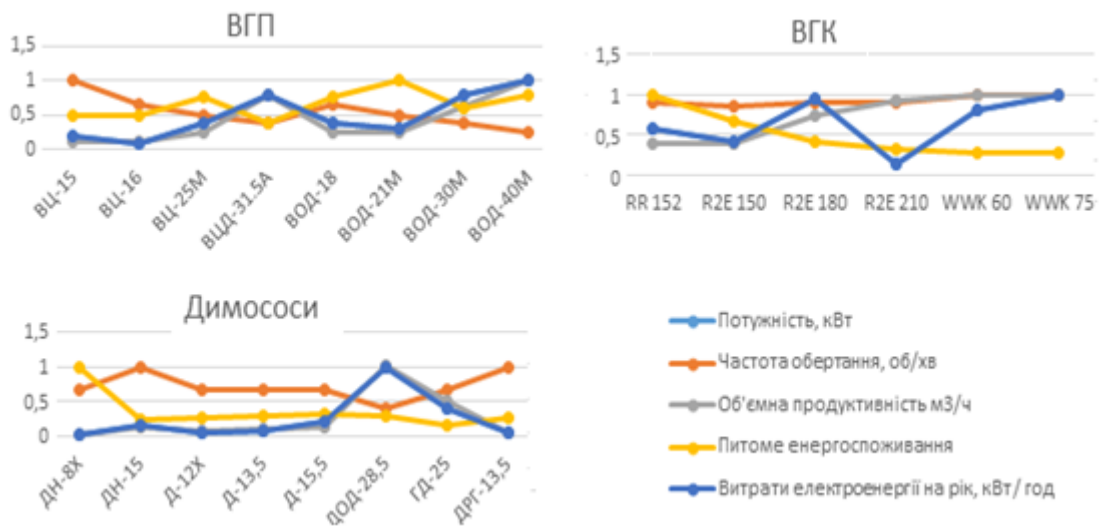


Рис.1 Результати порівнянь характеристик для різних типів турбомеханізмів

Як видно з наданого графіка ВГП, представленого на рис.1, витрати електроенергії для шахтних вентиляторів ВГП в залежності від потужності електродвигунів на рік відрізняються майже у 13 разів та змінюються від 324000 до 4147200 кВт/рік, а питоме енергоспоживання з урахуванням найбільш раціональні та ймовірні режими їх експлуатації змінюється приблизно 2, 6 рази, тобто від 1,2 до 3,1. Результати порівнянь для димососів представлені в залежності від потужності електродвигунів на рік відрізняються майже у 14 разів та змінюються від 285120 до 4147200 кВт/рік, а питоме енергоспоживання з урахуванням найбільш раціональні та ймовірні режими їх експлуатації змінюється приблизно 7 разів, тобто від 0,36 до 2,5. Одночасно, як видно з наданого графіка ВГК, для цих механізмів в залежності від потужності електродвигунів на рік відрізняються майже у 3 рази та змінюються від 82944 до 194400 кВт/рік, а питоме енергоспоживання з урахуванням найбільш раціональні та ймовірні режими їх експлуатації змінюється приблизно 3 рази, тобто від 1,2 до 4,4.

Висновки. Для порівняння втрат споживання електричної енергії вентиляторами не достатньо використовувати паспортну номінальну корисну гідравлічну потужність. Реальне визначення споживання електроенергії турбомеханізмом повинно враховувати найбільш раціональні та ймовірні режими його експлуатації. Для розрахунку питомого енергоспоживання, що визначається в нормальній області режимів роботи турбомеханізму, необхідно використовувати максимальні та мінімальні значення статичних коефіцієнтів корисної дії, статичного тиску та обсяги повітря, що відповідають значенням параметрів вентилятора в точках характеристик. При цьому оптимально необхідно виконувати розрахунок для 25 режимів. Як показали результати дослідження, залежність енергоспоживання турбомеханізмами визначається технічними параметрами і режимів роботи та може змінюватися в десятки разів, тому потребує розробки засобів і пристроїв автоматизації для її економії.

Список літератури

1. Голинько В. И. Вентиляция шахт и рудников: учеб. пособие / В. И. Голинько, Я.Я. Лебедев, О. А. Муха. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 266 с.
2. Чершаних В.М. Системы электроприводе і автоматики шахтних стаціонарних машин та установок. М. : Надра, 1976. – 398 с.
3. Абрамов Ф.А., Бойко В.А. Автоматизация проветривания шахт. – Киев: Наукова думка, 1967. – 310 с.
4. Петров Н.Н., Зедгенизов Д.В. Управление воздухоподачей для технологических нужд как источник энергосбережения // Промышленная энергетика. – 2000. - № 11. – С.42 – 49.
5. Зедгенизов Д.В., Красюк А.М., Попов Н.А. Анализ способов регулирования режима работы тоннельных осевых вентиляторов // Метро. - 2000. - № 5 - 6. – С. 23 – 27.
6. Зедгенизов Д.В. Управление синхронным электроприводом главного вентилятора при автоматизации проветривания шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2000. - № 8. – С. 72 - 76.
7. Энергосберегающий комплекс управления тягодутьевыми механизмами котельной // Энергосбережение. – № 3. –2004.
8. Белов М. П. Автоматизированный электропривод тепловых производственных механизмов и технологических комплексов; учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений/ 3-е изд., испр. –М.: Издательский центр «Академия», 2007. -576с.
9. Дымосос серии ST [электронный ресурс]. – Режим доступа:
10. http://www.riello.su/products/img/дымосос_ST_3.pdf, свободный.
11. Барский В.А., Бешта А.С., Горбачев Н.В., Загирняк М.В., Клепиков В.Б., Лозинский О.Ю., Пересада С.М., Садовой А.В., Толочко О.И. / Электропривод как энергосберегающий фактор в промышленности и ЖКХ Украины // Энергосбережение. Энергетика. · Энергоаудит. – Харьков, 2013. – № 9(115). – С.2–11.
12. Спосіб отримання електроенергії. Патент України № 105303 U, опубл.2016.03.10, бюл. №5/2016. МПК F03D 1/04 (2006.01), F03D 9/25 (2016.01).
13. Спосіб отримання електроенергії. Патент України № 110298, опубл.2016.10.10,бюл. №19/2016. МПК G03D 5/00, F01B 1/00.
14. Пристрій для автоматичного керування електроспоживанням. Патент України № 109979, опубл.2016.26.09,бюл. №18/2016. МПК H02J 13/00.
15. ГОСТ 11004-84. Вентиляторы шахтные главного проветривания.