

УДК669.162.1

В. Й. Лобов, доц., канд. техн. наук, О.В. Митрофанов, асп.*Криворізький національний університет, м.Кривий Ріг, Україна**E-mail: mitrofanov.322@gmail.com*

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.

газоповітряний потік, турбомеханізми, питоме енергоспоживання, мережа живлення, залежність, ефективність

В. И. Лобов, доц., канд. техн. наук, А.В. Митрофанов, асп.*Криворожский национальный университет, г.КривойРог, Украина***Анализ энергетических характеристик турбомеханизмов**

Показано, что турбомеханизмы являются энергоёмкими по сравнению с другими технологическими объектами и агрегатами предприятия. Выполнено сравнение потерь потребления электрической энергии вентиляторами, используя паспортную номинальную полезную гидравлическую мощность с одной стороны и учитывая, с другой стороны, максимальные и минимальные значения статических коэффициентов полезного действия, статического давления и объёма воздуха, которые соответствуют значениям параметров вентилятора в точках характеристик. При этом расчёт выполнен для 25 режимов. Представлены результаты выполненных расчётов, которые определяют зависимость энергопотребления турбомеханизмов, которые зависят от технических параметров и режимов работы, и может изменяться в десятки раз.

газовоздушный поток, турбомеханизмы, удельное энергопотребление, сеть питания, зависимость, эффективность

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 витратах 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 споживчої 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].

Постановка завдання. Метою даної статті – 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 основного 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 залізородних 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 посування 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-втяжної вентиляції виробничих приміщень збагачувальних фабрик або фабрикогрудкування, 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 відчувають 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, паливник 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 пальниками. 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:

$$P_{\text{вир.}} = \left[\frac{P_{\text{гв}} \times N_{\text{год}}}{100} \right] \times N_{\text{дн.}} \times N_{\text{рік}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{гв}}$ – 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 $P_{\text{гв}}$, що характеризує гідравлічну потужність, передану вентилятором переміщуваного їм повітря і визначається в загальному випадку за формулою:

$$P_{\text{гв.}} = Q \times p_{\text{ст}} / 1000. \quad (2)$$

У формулі 2 прийнято: Q – обсяг повітря, що протікає в одиницю часу через вентилятор, віднесений до умов всмоктування. Відповідає об'ємній витраті повітря, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $p_{\text{ст}}$ – 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 питоми 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

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

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.

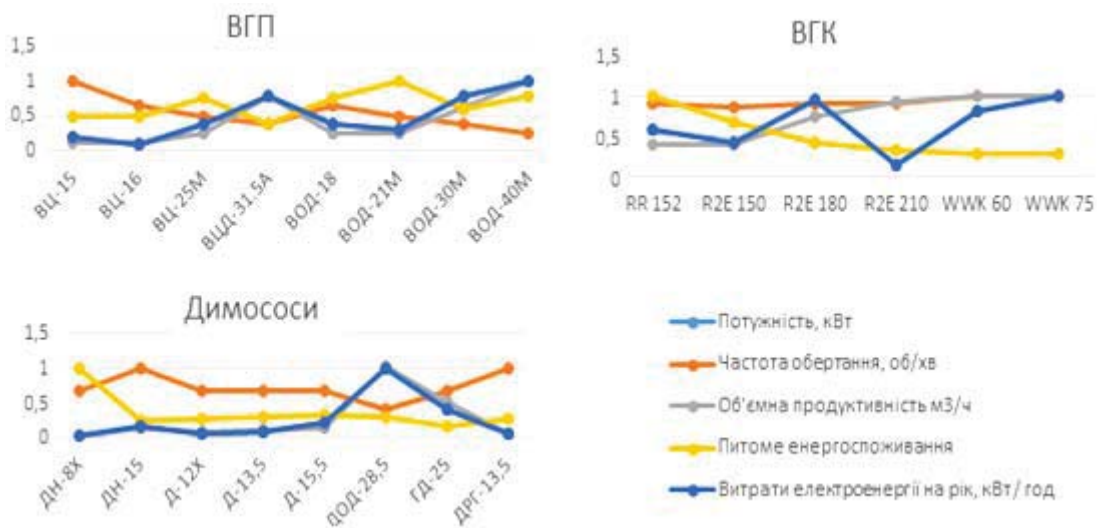


Рисунок 1 – Результати порівнянь характеристик для різних типів турбомеханізмів

Як видно з наданого графіка ГВП, представленого на рис.1, витрати електроенергії для шахтних вентиляторів ГВП 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 раціональних та ймовірних режимів 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 раціональних та ймовірних режимів 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

раціональних та ймовірних режимів 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 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 [Текст] / В. И. Голинько, Я.Я. Лебедев, О. А. Муха. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 266 с.
2. Чершаних, В.М. Системы электропривода і автоматики шахтних стаціонарних машин та установок [Текст] / В.М. Чершаних. – М. : Надра, 1976. – 398 с.
3. Абрамов Ф.А. Автоматизация проветривания шахт [Текст] / Ф.А. Абрамов, В.А. Бойко. – Киев: Наукова думка, 1967. – 310 с.
4. Петров, Н.Н. Управление воздухоподачей для технологических нужд как источник энергосбережения [Текст] / Н.Н. Петров, Д.В. Зедгенизов // Промышленная энергетика. – 2000. – № 11. – С.42 – 49.
5. Зедгенизов, Д.В. Анализ способов регулирования режима работы тоннельных осевых вентиляторов [Текст] / Д.В. Зедгенизов, А.М. Красюк, Н.А. Попов // Метро. – 2000. – № 5-6. – С. 23-27.
6. Зедгенизов, Д.В. Управление синхронным электроприводом главного вентилятора при автоматизации проветривания шахт [Текст] / Д.В. Зедгенизов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2000. - № 8. – С. 72 - 76.
7. Суворов, М.В. Энергосберегающий комплекс управления тягодутьевыми механизмами котельной [Электронный ресурс] / М.В. Суворов // Энергосбережение. – № 3. –2004. – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2501
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: [http:// www.riello.su>products/img/дымососST_3.pdf](http://www.riello.su/products/img/дымососST_3.pdf), свободный.
10. Электропривод как энергосберегающий фактор в промышленности и ЖКХ Украины / В.А. Барский, А.С. Бешта, Н.В. Горбачев, [и др.] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 9(115). – С.2–11.
11. Спосіб отримання електроенергії. Патент України № 105303 У, опубл. 2016.03.10, бюл. №5/2016. МПК F03D 1/04 (2006.01), F03D 9/25 (2016.01).
12. Спосіб отримання електроенергії. Патент України № 110298, опубл. 2016.10.10, бюл. №19/2016. МПК G03D 5/00, F01B 1/00.

Viacheslav Lobov, Assoc. Prof., Phd tech. sci., Alexandr Mitrofanov, post-graduate

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine.

Analysis of energy characteristics of turbo-mechanisms

The purpose of this article is to analyze the characteristics of electrical power of turbo-mechanisms at work in different modes and loads, to establish the power consumption of equipment and find the ways to reduce it.

The comparison of electrical power loss consumption of fans using the nameplate nominal effective hydraulic power on the one hand and the maximum and minimum values of the static efficiency coefficient, static pressure and air volume corresponding to the values of fan parameters in the characteristic points on the

other hand is carried out. The calculation is performed for 25 modes. The results of the calculations which determine the dependence of turbo-mechanisms energy on technical parameters and operating conditions may ten times vary.

To define real power consumption of turbo-mechanisms we should take into account the most rational and possible modes of its operation. To calculate power intensity, defined in the normal turbo-mechanisms operating modes, we must use the minimum and maximum values of static efficiency, static pressure and air volume corresponding to the values of fan parameters performance. In this case we should perform the calculation for the 25 modes. The results of the study prove the dependence of turbo-mechanisms power of technical parameters and operating conditions which may vary by tens of times; therefore, it requires further investigation of equipment automation and devices for its saving.

air-gas flow, turbo-mechanisms, specific power supply, power system, dependence, efficiency

Одержано 12.03.17

УДК 681.513.5

**Oleksiy Lobok, Assoc. Prof., Phd phys.&math. sci., Borys Goncharenko, Prof., DSc.,
Maryna Sych, post-graduate**

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Larysa Vihrova, Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

E-mail: VIHROVALG@ukr.net

Modeling of optimal automatic control of the process of biological clearing of polluted waters by fractional order regulators

The problem of modeling the control of the process of biological treatment of polluted waters using fractional $PI^\lambda D^\mu$ - regulators is considered and solved. Optimum tunings of fractional regulators are obtained, the dynamics of transient processes of control action and the state of the purification system is investigated. Numerical simulation of fractional and classical control is carried out, a higher efficiency of fractional $PI^\lambda D^\mu$ regulators is shown.

fractional calculus, differentintegrator, optimal control, numerical modeling, bio-purification of waters

А.П. Лобок, доц., канд. физ.-мат. наук, Б.М. Гончаренко, проф., д-р техн. наук, М.А. Сыч, асп.

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, Кропивницкий, Украина

Моделирование оптимального автоматического управления процессом биологической очистки загрязненных вод регуляторами дробного порядка

Решается задача числового моделирования управления процессом биологической очистки загрязненных вод с помощью дробных $PI^\lambda D^\mu$ - регуляторов. Получены оптимальные настройки дробных регуляторов, исследована динамика переходных процессов управляющего воздействия и состояния очистной системы. Проведено численное моделирование управления дробными $PI^\lambda D^\mu$ и классическим PID - регулятором, показана более высокая эффективность дробных $PI^\lambda D^\mu$ регуляторов.

дробное исчисление, дифференциатор, оптимальное управление, численное моделирование, биоочистка вод

© Oleksiy Lobok, Borys Goncharenko, Maryna Sych, Larysa Vihrova, 2017