**Євгенія Буштрук, Степан Шевчук, Олександр Мейта**

**(Київ, Україна)**

**АНАЛІЗ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ**

У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості особливого значення набуває ефективна організація систем вентиляції на підприємствах. Вентиляційні системи відіграють ключову роль у забезпеченні належного мікроклімату, охороні здоров’я працівників, підвищенні енергоефективності та зменшенні шкідливого впливу на навколишнє середовище. Застарілі вентиляційні установки часто не відповідають сучасним вимогам щодо економії енергоресурсів та рівня автоматизації. Тому актуальним завданням є аналіз існуючих підходів та пошук шляхів удосконалення систем промислової вентиляції.

**Мета роботи.** Вибір та обґрунтування шляхів удосконалення системи вентиляції промислового підприємства.

**Аналіз сучасних досліджень.** На теперішний час можна виділити декілька основних шляхів удосконалення систем промислової вентиляції [1-5]:

* встановлення рекуператорів;
* застосування систем автоматизації;
* встановлення частотних перетворювачів;
* застосування енергоефективних двигунів та заміна АС-двигунів на ЕС-двигуни.
* використання сучасних фільтраційних систем;

**Системи з рекуператорами.** Рекуператор – цеконструкція вентиляційного типу, основною ланкою яких є теплообмінник. Головне завдання такого апарату полягає у поверненні теплової енергії, втраченої через систему вентиляції [1].Рекуператор тепла має подвійні стінки з розмежувачами, що мають високу теплопровідність. Вони перешкоджають змішанню теплих і холодних мас, які рухаються паралельно чи перехресно. Однак через розмежувачі потік повітря, забраний з вулиці, охолоджується або прогрівається масами, що виходять з приміщення, до потрібної температури. Таким чином відбувається повернення енергії для повторної експлуатації [1].

Переваги. По-перше, це дозволить економити енергію, сучасні пристрої можуть повертати до 85% тепла взимку та холоду влітку. По-друге, встановлення рекуператорів знизить витрати на опалення або кондиціювання. І головне, система з рекуператорами дає можливість автоматизації, що призведе до зменшення втручання персоналу в роботу системи.

Недоліки. Головним недоліком модернізації за допомогою рекуператорів являється висока початкова вартість монтажу: сам рекуператор може бути дорогим та система окупається не одразу, а лише через декілька років за рахунок економії енергії. Наступний недолік – складність інтеграції в існуючу систему.

**Автоматизовані системи вентиляції.** Автоматизація системи промислової вентиляції з рекуператорами за допомогою датчиків. Така система може буде автоматизована за допомогою датчиків температури, вологості, присутності. Наприклад, датчик температури буде вимірювати температуру приливного, витяжного або зовнішнього повітря. Датчик вологості контролювати вологість повітря в приміщенні та якщо вологість надмірна рекуператор збільшить об’єм повітрообміну. Датчик присутності виявлятиме людей в приміщенні і за відсутності людей система перейде в режим енергозбереження.

**Системи з промислової вентиляції перетворювачами частоти (ПЧ).**Частотний перетворювач регулює частоту та напругу подачі струму доелектродвигуна вентилятора. Перший блок частотного перетворювача – випрямляч – за допомогою діодів або тиристорів перетворює змінний струм у постійний. Далі фільтр згладжує пульсації та забезпечує стабільну напругу на виході. Інверторна частина перетворює постійний струм назад у змінний, змінюючи його частоту та напругу відповідно до заданих параметрів. Частотний перетворювач формує синусоїдальний сигнал необхідної частоти, відповідно до потрібної швидкості обертання електродвигуна.

Переваги. ПЧ може плавно регулювати оберти вентилятора, що дозволить змінювати продуктивність вентиляції відповідно до реальних потреб. Частотне регулювання досить енергоефективне, воно дозволяє зменшити оберти вентилятора у періоди низького навантаження, особливо у випадках коли система не потребує постійної роботи на максимальній потужності. Інвертор ПЧ забезпечує плавний пуск електродвигуна вентилятора, що знижує механічні навантаження на обладнання та зменшує пускові струми [2]. Частотні перетворювачі дозволяють точно регулювати швидкість обертання вентилятора. Зменшення швидкості обертання вентилятора приводить і до зменшення рівня шуму. Частотні перетворювачі збільшують термін служби вентиляторів, завдяки плавному пуску та адаптивному навантаженню. І головне, сучасні ПЧ мають широкі можливості інтеграції з системами автоматизації.

Недоліки. Перетворювачі частоти мають доволі високу вартість, але вони окупаються в середньому за 2 роки завдяки економії енергії. Не всі двигуни сумісні з перетворювачами частоти, на деяких підприємствах може знадобитись заміна або модернізація електродвигунів. ПЧ також вимагають додаткових витрат на обслуговування.

**Сучасні фільтраційні системи.** Такі системи очищення повітря використовують високоефективні фільтри для затримки пилу, токсичних газів, шкідливих мікрочастинок, запахів та легких органічних сполук. Для правильної фільтрації вентиляційної системи промислового цеху потрібно три види фільтрів: для попереднього захисту, для основної фільтрації та для хімічного очищення.

Для попереднього захисту можна встановити фільтр G4 він буде зупиняти грубий пил. Повітряні фільтри грубої очисткипризначені для видалення різних забруднень повітря: пилу, комах, сажі та інших візуально помітних частинок [3]. Встановлюються такі фільтри на вході припливного повітря для того щоб захистити тонші фільтри від грубого пилу. Для основної фільтрації можна використовувати фільтри F7 вони будуть зупиняти дрібнодисперсний пил, алергени та шкідливі частинки. Для хімічного очищення потрібні вугільні фільтри, які допоможуть поглинати гази, запахи та леткі органічні речовини.

**Системи з ЕС-двигунами.** EC-двигуни мають вбудований контролер, що забезпечує плавне й точне регулювання швидкості. Постійні магніти в роторі взаємодіють із магнітним полем статора, яке змінюється залежно від поданого струму. Контролер автоматично подає струм потрібної полярності, реагуючи на сигнали 4–20 мА або 0–10 В. Це дозволяє двигуну обертатися з точно заданою швидкістю при мінімальних енерговитратах [4].

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця АС-двигуна та ЕС-двигуна

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **АС-двигун** | **ЕС-двигун** |
| Тип живлення | Змінний струм | Постійний струм |
| Регулювання швидкості | Ускладнене | Легке |
| ККД | 65-75% | 90-95% |
| Шум | Вищий | Нижчий |
| Точність регулювання | Низька | Висока |
| Енергоспоживання | Більше | На 25-35% менше |
| Живлення | 3-фазне | 1-фазне та 3-фазне |

Порівняльний аналіз свідчить, що EC-двигуни мають значні переваги над традиційними AC-двигунами у промислових системах вентиляції. Завдяки високому ККД (90–95%), зниженому споживанню енергії та точному регулюванню обертів. Вентилятори, що створені на базі ЕС-двигунів називають ЕС-вентиляторами. ЕС-вентилятор підключається до мережі змінного струму, вбудований інвертор перетворює змінний струм на постійний. Контролер в свою чергу подає електричні імпульси на обмотки статора, так створюється обертове магнітне поле, яке змушу ротор обертатися.

Переваги ЕС-вентилятора. Перш за все, вони забезпечують економію електроенергії завдяки ефективному споживанню. Завдяки високому ККД ЕС-вентилятори знижують втрати тепла. Також, вони мають більший термін служби, через відсутність швидкозношуваних деталей. Внаслідок відсутності механічного тертя ЕС-вентилятори генерують менше шуму та вібрацій.

Недоліки. ЕС-вентилятори коштують значно дорожче за АС-аналог, навіть при однакових характеристиках. Наступний недолік – ремонт ЕС-вентиляторів, через наявність електроніки ремонт часто неможливий або економічно недоцільний, через це доводиться повністю міняти вентилятор.

**Результати роботи.** Кожен з розглянутих шляхів має свої переваги та недоліки, наведені у таблиці 2.Проаналізувавши методи можна виділити два підходи до модернізації системи з метою підвищення її енергоефективності: встановлення рекуператорів та заміна традиційних AC-двигунів на енергоефективні EC-двигуни.

Таблиця 2 – Порівняння шляхів удосконалення систем вентиляції

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Переваги** | **Недоліки** |
| Встановлення частотних перетворювачів | • Економія електроенергії • Регулювання швидкості вентилятора • Збільшення терміну служби обладнання  • Можливість автоматизації | • Висока вартість • Несумісність зі старим обладнанням |
| Використання сучасних фільтраційних систем | • Поліпшення якості повітря | • Регулярна заміна фільтрів • Витрати на заміну фільтрів |
| Встановлення рекуператорів | • Економія електроенергії • Зменшення витрат  • Можливість автоматизації | • Початкова вартість • Складність інтеграції в старі системи |
| Заміна АС-двигунів на ЕС-двигуни | • Економія електроенергії • Зменшення витрат тепла  • Збільшення терміну служби • Зменшення шуму та вібрацій • Можливість автоматизації | • Вартість  • Ремонт ЕС-двигунів |

**Шлях 1.** Якщо існуюча система вентиляції не має рекуператорів енергії витяжного повітря та існує технічна можливість її до оснащення — необхідно їх встановити. Сучасна система вентиляції має бути рекуперативною [5]. Це дозволить зекономити на нагрів або охолодження припливного повітря.

Система, яка не має рекуперації просто виводить нагріте або охолоджене повітря назовні, не використовуючи цю енергію повторно та в подальшому потребує додаткові витрати на нагрів або охолодження припливного повітря, що надходить ззовні. Цю проблему можна вирішити завдяки рекуператорам.

**Шлях 2.** Якщо існуюча система вентиляції побудована на звичайних електродвигунах змінного струму — їх треба замінити на EC-двигуни (електронно-комутовані) [5]. На відміну від традиційних AC-вентиляторів, EC-моделі здатні точно регулювати швидкість обертання, адаптуючись до потреб вентиляційної системи в реальному часі, що дозволяє уникнути перевитрати ресурсів. Ще однією важливою перевагою є зменшення втрат тепла, завдяки точному налаштуванню потоку повітря. Крім того, EC-вентилятори мають триваліший термін служби, оскільки в них відсутні щітки та інші швидкозношувані механічні компоненти, характерні для традиційних двигунів. Це знижує частоту обслуговування та витрати на ремонт. Важливо також зазначити, що рівень шуму та вібрацій у EC-вентиляторів значно нижчий, що особливо актуально для виробничих цехів. Також такий спосіб модернізації залишає можливість автоматизації за допомогою підключення до ЕС-вентиляторів датчиків температури, вологості, тиску та інших.

**Висновок.** Удосконалення систем промислової вентиляції є важливим завданням. Проведений аналіз показав, що найбільш доцільними шляхами модернізації є встановлення рекуператорів та заміна традиційних AC-двигунів на сучасні енергоефективні EC-двигуни.

Встановлення рекуператорів дозволяє суттєво знизити теплові втрати за рахунок повторного використання енергії витяжного повітря. Це не тільки зменшує витрати на опалення та кондиціонування, а й створює передумови для впровадження автоматизованих систем керування вентиляцією.

Заміна AC-двигунів на EC-двигуни забезпечує істотне зменшення споживання електроенергії, підвищує точність регулювання, знижує рівень шуму та вібрацій, а також подовжує термін експлуатації обладнання.

Таким чином, модернізація систем промислової вентиляції за допомогою рекуператорів та EC-двигунів є ефективним рішенням, яке відповідає вимогам сучасного виробництва, сприяє економії ресурсів та покращенню умов праці на підприємствах.

**Джерела:**

1. Рекуператори повітря та тепла<https://gree-climat.com.ua>
2. Частотний перетворювач для вентилятора: Управління та оптимізація системи вентиляції <https://spc.com.ua/blogs/frequency-inverters/frequency-invertors-for-fan-control-and-optimization-of-ventilation-system>?
3. Панельні повітряні фільтри для грубого очищення <https://shop.alterair.ua/product/vozdushnyye-panelnyye-filtry-gruboy-ochistki-g1-g4>
4. EC-вентилятори: що це, чому важливі та які обрати<https://vents-shop.com.ua/statti-pro-ventilyaciyu-uk/energozberigayuchi-es-ventilyatori/>
5. Модернізація систем вентиляції та кондиціонування в промислових об’єктах: основні кроки <https://propertytimes.com.ua/techno-logies/modernizatsiya_sistem_ventilyatsiyi_ta_konditsionuvannya_v_promislovih_obektah_osnovni_kroki>