



UDC 621.3.078.4: 621.512

APPROACH TO ASSESSING THE EFFICIENCY OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF COMPRESSED AIR

Moshnoriz Mykola M.*c.t.s., as. prof.*

ORCID: 0000-0001-7626-8327

Sukhlyak Y. A.*student.*

ORCID: 0009-0009-9771-9962

Barchuk V. A.*master, entrepreneur*

ORCID: 0009-0003-5551-1326

Moshnoriz Maria M.*c.f.s.*

ORCID: 0000-0001-6850-9610

*Vinnitsia National Technical University,
Vinnitsia, Khmelnytskyi Highway, 95, 21021*

Abstract. The work addresses issues related to improving the efficiency of compressor operation. The study is devoted to investigating energyefficient electromechanical systems used in compressed air production. The primary objective is to develop methods for assessing and enhancing the efficiency of such systems, particularly through frequency control of the compressor motor speed. The work includes an analysis of modern compressor control technologies, classification of electromechanical systems, mathematical modeling of compressed air generation processes, and an evaluation of the economic efficiency of the proposed approach. The MATLAB/Simulink software package was applied to construct a mathematical model of the system and conduct numerical experiments. Key results: A functional diagram of the electromechanical system with a frequency converter has been developed. Mathematical modeling of compressed air production processes was carried out, enabling an assessment of potential efficiency improvements.

Key words: Electromechanical system, Compressor, Frequency control, Modeling, Economic efficiency.

Introduction.

Більшість використовуваних в Україні компресорних станцій оснащені застарілими системами керування, які не забезпечують оптимальних режимів роботи в умовах змінного навантаження. Традиційні методи регулювання продуктивності (дроселювання, періодичне включення/вимикання) мають низьку енергоефективність, що призводить до надмірних витрат електроенергії.

Дослідження показують, що впровадження сучасних систем управління на основі частотно-регульованого приводу може забезпечити економію електроенергії до 30–40% в порівнянні з традиційними системами.



Метою роботи є підвищення надійності роботи системи виробництва стиснутого повітря за рахунок вчасного виявлення несправностей у роботі пневматичної системи.

Об'єкт дослідження: процес передачі корисної роботи від електромеханічної частини компресорної установки до кінцевого споживача.

Предмет дослідження: математичний апарат та комп'ютерна модель для імітації роботи системи виробництва та транспортування стиснутого повітря.

Аналіз літературних джерел.

Сучасний розвиток компресорної техніки спрямований насамперед на підвищення енергоефективності [1-5]. Це досягається шляхом вдосконалення аеродинаміки проточної частини; застосування сучасних матеріалів з покращеними характеристиками; впровадження електродвигунів класу енергоефективності IE4 та IE5; повсюдного використання частотно-регульованого приводу з оптимізованими алгоритмами керування; розвиненими системами контролю і управління, які забезпечують автоматичне підтримання заданих параметрів роботи, діагностику стану обладнання в реальному часі, прогнозування відмов на основі аналізу даних, інтеграцію в загальнозаводські системи управління, дистанційний моніторинг і керування через інтернет [1-3].

Сучасні компресорні установки розвиваються у напрямку мініатюризації з використанням високошвидкісних компресорів до 100000 об/хв і електродвигунів з постійними магнітами високою питомою потужністю. Енергетичні показники включають коефіцієнт корисної дії, споживану потужність, теплові втрати, продуктивність, тиск на виході та споживання енергії на одиницю продукції, які залежать від конструкції компресора, умов експлуатації та технічного стану обладнання [5-10].

Основна частина.

Аналіз проводиться через моніторинг в реальному часі, аудит енергоспоживання та комп'ютерне моделювання для оптимізації роботи. Регулювання продуктивності здійснюються механічними методами через зміну частоти обертання або використання клапанів, гідравлічними шляхом зміни



обсягу робочої камери термодинамічними шляхом регулювання температури та електронним шляхом автоматизованими системами управління. Комбіновані методи забезпечують максимальну гнучкість регулювання, і вибір конкретного підходу залежить від специфіки виробництва та вимог до енергоефективності [1-3].

Розглянемо структурну схему всієї системи генерування та споживання стиснутого повітря (рисунок 1).

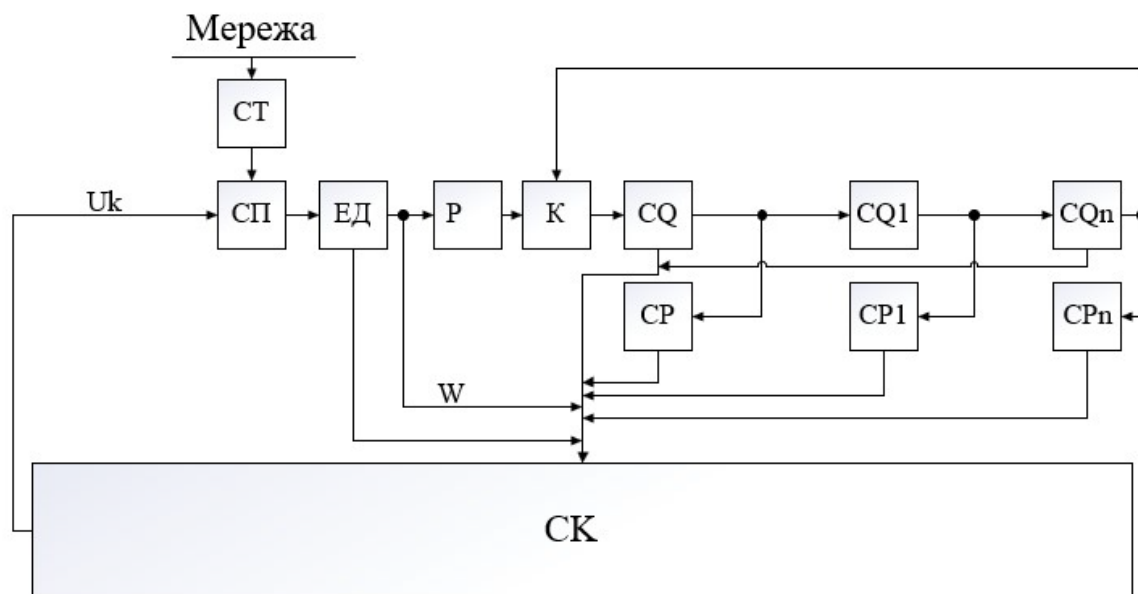
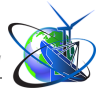


Рисунок 1 – Структурна схема системи генерування та споживання стиснутого повітря

На вході встановлений лічильник електроенергії СТ. Після лічильника мережа подає живлення силовому перетворювачу (СП). Силовий перетворювач (СП) підсилює напругу та регулює частоту живлення електродвигуна (ЕД) за командами системи керування (СК). Електродвигун (ЕД) обертає редуктор (Р), який передає потужність до компресора (К). Контроль швидкості двигуна, продуктивності та тиску: Сенсори продуктивності (CQ) вимірюють об'єм повітря, що компресується. Сенсори тиску (CP) контролюють тиск у системі. Дані з сенсорів (CQ і CP) і швидкості двигуна (W) передаються системі керування (СК). СК аналізує ці дані і коригує параметри роботи електродвигуна



(ЕД) через силовий перетворювач (СП). Система керування (СК) також контролює декількох споживачів (CQ1, CQn, CP1, CPn), забезпечуючи оптимальне живлення та роботу всієї системи.

Система підтримує заданий тиск у головній магістралі, регулюючи швидкість обертання компресора. При падінні тиску нижче заданого плюс гістерезис, частота двигуна збільшується. При досягненні заданого тиску частота знижується до підтримуючої. Режим економії енергії. При відсутності споживання система переходить в режим очікування. Система аналізує графік споживання та прогнозує навантаження. Оптимізація швидкості нагнітання в залежності від потреб споживачів. Діагностика та превентивне обслуговування. Система відстежує напруження та інформує про необхідність технічного обслуговування. Контроль температури двигуна та компресора. Аналіз відхилень в роботі для раннього виявлення несправностей.

Переваги такої схеми полягають в тому, що здійснюється гнучке керування : За допомогою силового перетворювача (СП) можна точно регулювати швидкість обертання електродвигуна, що дозволяє підтримувати необхідну продуктивність компресора. Автоматизація процесу : Система керування (СК) автоматично реагує на зміни у системі за допомогою зворотного зв'язку, що зменшує людське учасю. Висока точність: Використання сенсорів продуктивності (CQ) та тиску (CP) забезпечує точне контролювання процесу компресії. Оптимізація для багатьох споживачів : Система керування (СК) може координувати роботу декількох споживачів (CQ1, CQn, CP1, CPn), забезпечуючи оптимальне живлення кожного. Захист електродвигуна : Силовий перетворювач (СП) може забезпечувати захист електродвигуна від перевантажень, коротких замикань.

Ця схема представляє сучасну систему електроприводу компресора з використанням силового перетворювача та системи керування. Вона має ряд переваг, таких як гнучке керування, автоматизацію процесу та високу точність. Однак для покращення енергоефективності слід враховувати недоліки, такі як надлишкове споживання енергії при неправильній налаштуванні та втрати



енергії в силовому перетворювачі. Для покращення можна ввести механізми рекуперації енергії, оптимізовані алгоритми керування та енергозберігаючі технології.

Дана конфігурація являє собою багатоконтурну систему автоматичного регулювання, що забезпечує оптимальне функціонування компресорного обладнання при змінних навантаженнях [22].

Основним елементом силовій частині системи виступає частотний перетворювач, який здійснює керування асинхронним електродвигуном компресора. Частотний перетворювач забезпечує плавне регулювання швидкості обертання двигуна шляхом зміни частоти та амплітуди напруги живлення, що дозволяє адаптувати продуктивність компресора до поточних потреб системи. Використання частотного керування значно підвищує енергоефективність установки порівняно з традиційними методами регулювання продуктивності.

Технологічна частина системи включає сенсори тиску та продуктивності, розташовані на виході компресорної установки. Датчик тиску забезпечує контроль над одним з найважливіших параметрів роботи системи, дозволяючи підтримувати необхідний рівень тиску в пневматичній мережі. Сенсор продуктивності здійснює моніторинг об'ємної витрати стисненого повітря, що дає можливість контролювати відповідність роботи компресора.

Система містить два основних контури зворотного зв'язку, які забезпечують стабільну та безпечну роботу обладнання. Контур зворотного зв'язку по струму електродвигуна виконує функції захисту від перевантажень та контролю споживаної потужності. Цей контур дозволяє оперативно реагувати на зміни навантаження на валу компресора і запобігати виникненню аварійних режимів роботи. Зворотний зв'язок по швидкості обертання забезпечує точне дотримання заданих параметрів роботи двигуна та компенсацію впливу зовнішніх збурень на систему.

Система керування реалізована на базі програмованого логічного контролера або спеціалізованого регулятора, який обробляє сигнали від усіх датчиків та формує керуючі впливи на частотний перетворювач. Алгоритм



керування забезпечує оптимальну роботу компресора при мінімізації енергоспоживання та максимізації надійності обладнання. Регулятор аналізує поточні значення тиску та продуктивності, порівнює їх із заданими значеннями та коригує швидкість обертання двигуна для досягнення оптимальних параметрів роботи.

Взаємодія елементів системи відбувається за принципом каскадного регулювання, де зовнішній контур керування здійснює регулювання технологічних параметрів, а внутрішні контури забезпечують стабільну роботу електроприводу. Такий підхід дозволяє досягти високої точності регулювання при збереженні стійкості системи в широкому діапазоні робочих режимів [28].

Переваги представленої конфігурації включають високу енергоефективність завдяки частотному регулюванню, можливість точного дозування продуктивності компресора відповідно до потреб споживачів, надійний захист обладнання від аварійних режимів, гнучкість налаштування параметрів роботи системи. Система забезпечує автоматичну адаптацію до змін навантаження без втручання оператора, що знижує експлуатаційні витрати та підвищує надійність роботи.

Розробка алгоритму аналізу енергоефективності електромеханічної системи компресора базується на комплексному підході до оцінки енергетичних характеристик через безперервний моніторинг та аналіз параметрів енергоспоживання на різних етапах роботи системи. Фундаментальною основою алгоритму є порівняльний аналіз енергетичних потоків на вході та виході електромеханічної системи, що дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності перетворення електричної енергії в механічну роботу компресора.

Алгоритм здійснює безперервне збирання даних про споживану електричну потужність на вході системи та корисну механічну потужність на виході, формуючи динамічні характеристики енергоспоживання в реальному часі. Вхідна енергетична характеристика, представлена зеленою лінією на верхньому графіку, відображає загальне електричне споживання системи, включаючи всі втрати в електричних компонентах, магнітних полях двигуна та механічних



елементах приводу. Вихідна характеристика, показана синьою лінією, характеризує корисну механічну роботу, що безпосередньо використовується для стиснення робочого середовища в компресорі.

Обчислення коефіцієнта корисної дії здійснюється через відношення вихідної корисної потужності до споживаної вхідної потужності, формуючи динамічну криву ККД, представлену на нижньому графіку. Алгоритм аналізує форму цієї кривої, виявляючи характерні особливості поведінки системи в різних режимах роботи. Початкова ділянка кривої ККД демонструє процес виходу системи на робочий режим, коли відбувається стабілізація всіх енергетичних процесів і досягнення оптимальних параметрів роботи електромеханічної системи [30].

Критичним аспектом роботи алгоритму є виявлення деградації ефективності системи через аналіз тенденцій зміни ККД у часі. Коли крива ККД демонструє негативну динаміку або відхилення від оптимальних значень, алгоритм активує підсистему діагностики для визначення першопричин зниження ефективності. Діагностичний модуль аналізує співвідношення між вхідними та вихідними параметрами, ідентифікуючи специфічні патерни, що характерні для різних типів неефективності системи.

Алгоритм здатен розрізняти між різними типами втрат енергії, включаючи електричні втрати в обмотках двигуна, магнітні втрати в сталі статора та ротора, механічні втрати в підшипниках та ущільненнях, а також аеродинамічні втрати в елементах компресорної частини. Через аналіз частотних характеристик сигналів споживання потужності та вібраційних параметрів алгоритм може локалізувати джерела неефективності та класифікувати їх за ступенем критичності для загальної роботи системи.

Коригувальні дії, що пропонуються алгоритмом для відновлення оптимального ККД, базуються на результатах діагностичного аналізу та включають оптимізацію режимів роботи через коригування частоти обертання двигуна, налаштування параметрів системи керування, рекомендації щодо профілактичного обслуговування механічних компонентів або заміни зношених



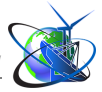
елементів. Алгоритм також враховує динамічні характеристики навантаження компресора та може адаптувати режими роботи до змінних умов експлуатації для підтримання максимальної енергоефективності протягом всього операційного циклу системи.

Ефективність, надійність, безпека та економічність обладнання КС повинні забезпечуватися: - постійним та періодичним контролем технічного стану обладнання візуально, за показаннями штатної контрольновимірної апаратури і з допомогою технічних засобів діагностики; - підтриманням обладнання та комунікацій у справному стані; - оптимальним режимом роботи технологічних установок КС; - ремонтами, модернізацією, реновацією або реконструкцією морально та фізично застарілого обладнання. Обладнання КС повинно мати технологічну станційну нумерацію, нанесену фарбою, що не змивається або іншим способом [3].

КС повинні бути обладнані системою автоматичного збирання, обробки та передачі на вищий рівень інформації про стан обладнання та параметри технологічних процесів на КС. Ця інформація є вхідною для роботи автоматичних систем діагностування ГПА. Зміни у конструкції обладнання КС, запроваджені у порядку модернізації, повинні впроваджуватись на основі бюлетенів підприємств-виготовлювачів обладнання, інформаційних листів, раціоналізаторських пропозицій та інших технічних рішень, розглянутих і рекомендованих до впровадження.

На основі математичного моделювання було отримано динамічні характеристики електромеханічної системи компресора, що дозволило прогнозувати поведінку системи при різних режимах роботи. Модель використовувалася для аналізу стабільності, швидкодії та точності регулювання, а також для оптимізації параметрів системи керування.

Представлена структурна схема демонструє алгоритм діагностики втрат стисненого повітря в сегментованій системі розподілу електромеханічної компресорної установки, що базується на принципі енергетичного балансу між потужністю подачі та споживання в кожній окремій секції трубопроводу



(рисунок 1).

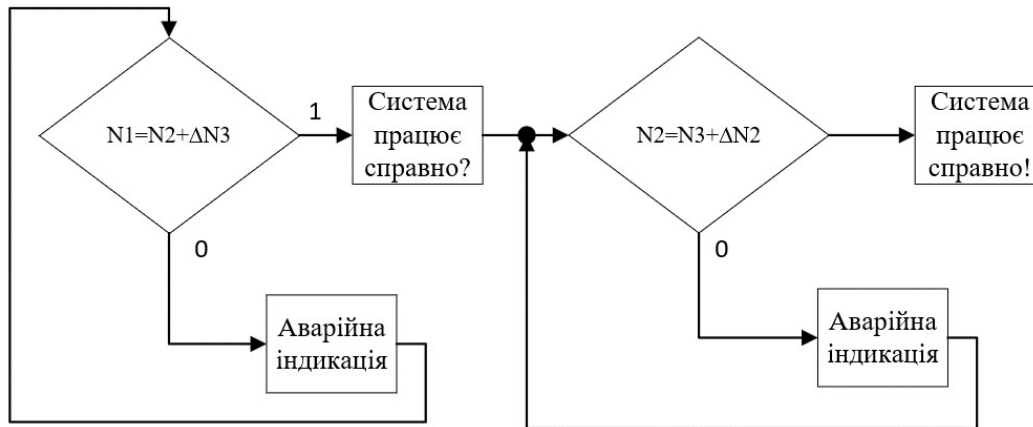
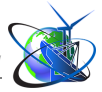


Рисунок 1 – Структурна схема моніторингу витрат повітря споживачами

Система включає трубопровід стисненого повітря, розділений на три незалежні секції, кожна з яких обладнана датчиками тиску та продуктивності для безперервного моніторингу параметрів потоку стисненого повітря, що дозволяє обчислювати миттєву потужність транспортування через добуток тиску на об'ємну витрату в кожній секції. Одночасно кожна секція містить споживач стисненого повітря, оснащений аналогічною системою сенсорів для визначення фактичної потужності споживання, що створює можливість для порівняльного аналізу енергетичних потоків на вході та виході кожної секції системи розподілу.

Алгоритм функціонує через послідовну перевірку енергетичного балансу в кожній секції, порівнюючи розрахункові значення потужності транспортування стисненого повітря з фактичними значеннями потужності споживання відповідного обладнання. Логічна структура алгоритму передбачає два основні сценарії: коли різниця потужностей $N1-N2+\Delta N3$ та $N2N3+\Delta N2$ дорівнює нулю, система генерує сигнал про нормальну роботу без втрат стисненого повітря, а коли виявляється енергетичний дисбаланс, активується аварійна індикація, що сигналізує про наявність витоків або несправностей у відповідній секції трубопроводу.

Діагностична здатність системи забезпечується через послідовний аналіз енергетичних балансів у кожній секції, що дозволяє не тільки виявити факт



наявності втрат стисненого повітря, але й точно локалізувати місце витoku через ідентифікацію конкретної секції з порушеним енергетичним балансом. Двоетапна структура перевірки, представлена на схемі, забезпечує надійність діагностики через перехресну верифікацію результатів аналізу в суміжних секціях системи, що мінімізує вірогідність помилкових спрацьовувань та підвищує точність локалізації місць втрат стисненого повітря в розгалуженій мережі розподілу компресорної установки.

Розширений алгоритм аналізу енергоефективності електромеханічної системи компресора з інтегрованим контуром моніторингу мережі розподілу стисненого повітря представляє комплексну систему діагностики, що поєднує енергетичний аналіз компресорної установки з детальним контролем споживання стисненого повітря в розгалуженій мережі споживачів. Фундаментальною особливістю даного алгоритму є одночасний аналіз енергетичних характеристик на рівні генерації стисненого повітря та його розподілу між множинними споживачами, що дозволяє отримати цілісну картину енергоефективності всієї пневматичної системи.

Алгоритм базується на принципі енергетичного балансу, де загальна потужність, що витрачається компресорною установкою на створення стисненого повітря, має відповідати сумарній потужності, що споживається всіма підключеними споживачами з урахуванням втрат у системі розподілу. Кожен споживач обладнаний високоточними сенсорами тиску та витратоміром продуктивності, що забезпечує безперервний моніторинг локальних параметрів споживання. Потужність споживання кожного окремого споживача обчислюється як добуток миттєвого значення тиску на об'ємну продуктивність, що дає можливість отримати енергетичний еквівалент споживання стисненого повітря в кожній точці системи.

Центральний блок алгоритму здійснює безперервне порівняння сумарної розрахункової потужності всіх споживачів з фактичною потужністю, що генерується компресорною установкою, визначеною через параметри тиску нагнітання та об'ємної продуктивності компресора. Енергетичний дисбаланс між



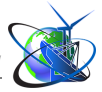
генерованою та споживаною потужністю індикує наявність втрат у системі, які можуть бути обумовлені витоками стисненого повітря через пошкодження трубопроводів, несправності з'єднань або деградацією ущільнювальних елементів.

Діагностичний модуль алгоритму використовує методи топологічного аналізу для локалізації місць втрат стисненого повітря через порівняння енергетичних балансів у різних сегментах розподільчої мережі. Система здатна ідентифікувати конкретні ділянки трубопроводу або з'єднання, де відбуваються втрати, через аналіз градієнтів тиску та невідповідностей між очікуваними та фактичними значеннями продуктивності в суміжних точках моніторингу. Алгоритм враховує гідродинамічні характеристики потоку стисненого повітря, включаючи втрати тиску на тертя в трубопроводах та місцевих опорах, що дозволяє відрізнити нормальні експлуатаційні втрати від аварійних витоків.

Система моніторингу споживачів забезпечує детальний профіль споживання кожного підключеного обладнання, дозволяючи оптимізувати режими роботи компресорної установки відповідно до реального попиту на стиснене повітря. Алгоритм аналізує динамічні характеристики споживання, виявляючи піки та спади навантаження, що дає можливість прогнозувати потребу в стисненому повітрі та адаптувати роботу компресора для мінімізації енергоспоживання при забезпеченні необхідних параметрів тиску та продуктивності.

Інтегрована система раннього попередження активується при виявленні аномальних відхилень в енергетичному балансі або при перевищенні порогових значень втрат стисненого повітря. Алгоритм класифікує виявлені аномалії за ступенем критичності, відрізняючи між поступовою деградацією системи внаслідок природного зносу компонентів та раптовими аваріями, що потребують невідкладного втручання.

Алгоритм також включає модуль оптимізації енергоспоживання, який аналізує ефективність роботи окремих споживачів та пропонує заходи для покращення загальної енергоефективності системи. Це включає рекомендації



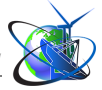
щодо перерозподілу навантаження між споживачами, оптимізації тисків у різних сегментах мережі та координації режимів роботи споживачів для зменшення пікових навантажень на компресорну установку.

Технологічна частина системи включає розгалужену мережу сенсорів тиску та продуктивності, стратегічно розміщених не лише на виході основного компресора, але й на вході кожного споживача стисненого повітря. Така конфігурація дозволяє здійснювати безперервний моніторинг втрат тиску в трубопроводній системі та оцінювати реальну продуктивність, що надходить до кожного споживача. Датчики продуктивності забезпечують вимірювання об'ємних витрат стисненого повітря в реальному часі, що створює можливість розрахунку локального коефіцієнта корисної дії для кожної гілки споживання окремо.

Схема передбачає живлення двох споживачів з суттєво різними характеристиками споживання стисненого повітря. Перший споживач характеризується високими вимогами до тиску при помірній продуктивності, тоді як другий споживач потребує значних об'ємів стисненого повітря при нижчих вимогах до тиску. Кожна гілка споживання обладнана власною системою моніторингу ефективності, що включає вимірювальні перетворювачі тиску, датчики об'ємної витрати та обчислювальні блоки для розрахунку локального коефіцієнта корисної дії.

Ключовою особливістю системи є наявність спеціалізованих блоків моніторингу втрат продуктивності, які здійснюють безперервний аналіз ефективності кожної гілки споживання. Ці блоки порівнюють теоретично очікувану продуктивність з реально виміряними значеннями та розраховують коефіцієнт втрат для кожного споживача окремо. Така функціональність дозволяє оперативно виявляти деградацію ефективності окремих ділянок системи, ідентифікувати витoki в трубопроводній мережі або погіршення характеристик споживчого обладнання.

Реалізація функції моніторингу коефіцієнта корисної дії для кожного споживача окремо створює можливість впровадження системи економічного



стимулювання ефективного використання стисненого повітря, коли споживачі з вищою ефективністю отримують пріоритет в розподілі ресурсів. Така функціональність особливо важлива для великих промислових комплексів з множиною технологічних процесів, що мають різні вимоги до параметрів стисненого повітря.

Недоліки системи пов'язані з значно підвищеною складністю як апаратної частини, так і програмного забезпечення, що потребує висококваліфікованого персоналу для налаштування, експлуатації та обслуговування. Велика кількість датчиків та вимірювальних пристроїв збільшує ймовірність відмов окремих компонентів системи, що може призвести до зниження загальної надійності. Високі початкові інвестиції в обладнання та програмне забезпечення можуть створювати економічні бар'єри для впровадження такої системи на невеликих підприємствах.

Система характеризується високою гнучністю налаштування параметрів роботи для різних споживачів, що дозволяє адаптувати її до широкого спектру промислових застосувань. Можливість індивідуального моніторингу ефективності кожного споживача створює передумови для впровадження системи управління якістю енергетичних ресурсів на рівні підприємства та оптимізації загальних енергетичних витрат через ідентифікацію найменш ефективних споживачів стисненого повітря.

Summary and conclusions.

Виконано комплексне дослідження ефективності роботи електромеханічної системи виробництва стиснутого повітря, яка є типовою для промислових підприємств. Робота була спрямована на вирішення актуальної задачі — модернізації системи керування з використанням частотного регулювання та реалізації системи моніторингу та діагностики витрат стисненого повітря.

У ході дослідження було виконано аналіз сучасних електромеханічних систем компресорів, визначені основні проблеми енергоефективності та методи їх вирішення. На основі цього підтверджено використання частотнорегульованого привода (ЧРП) як найбільш ефективного способу



регулювання продуктивності компресора. Для конкретного компресора було запропоновано адаптувати підхід до оцінки ефективності роботи системи генерації та споживання стиснутого повітря.

Запропоновано новий алгоритм моніторингу втрат стисненого повітря, який базується на аналізі енергетичного балансу уздовж трубопроводу. Цей підхід дозволяє точно локалізувати місця витоків, що в свою чергу значно скорочує час виявлення несправностей і запобігає виникненню аварійних ситуацій.

Система з частотним перетворювачем демонструє значну економію електроенергії у порівнянні з традиційною схемою керування без регулювання швидкості обертання двигуна.

Система моніторингу споживачів забезпечує детальний профіль споживання кожного підключеного обладнання. Це дозволяє оптимізувати режими роботи компресорної установки відповідно до реального попиту на стиснене повітря.

Алгоритм аналізує динамічні характеристики споживання, виявляючи піки та спади навантаження. Це дозволяє прогнозувати потребу в стисненому повітрі та адаптувати роботу компресора для мінімізації енергоспоживання при забезпеченні необхідних параметрів тиску та продуктивності.

Інтегрований контур моніторингу мережі розподілу стисненого повітря дозволяє виявляти втрати стисненого повітря та локалізувати місця витоків у системі розподілу. Це допомагає оперативно визначити проблемні сектори мережі та скоригувати їх.

Комплексний підхід до аналізу енергетичних характеристик на рівні генерації та розподілу стисненого повітря дозволяє досягти максимальної енергоефективності через координовану оптимізацію режимів роботи компресорної установки та раціональне управління споживанням стисненого повітря. Захист обладнання від аварійних режимів та автоматичне керування системою зменшують вартість технічного обслуговування та ремонту. Моніторинг споживання стисненого повітря дозволяє оперативно виявляти несправності та підвищувати надійність системи.



Розроблена система з частотним перетворювачем та комплексним алгоритмом моніторингу енергоспоживання та витрат стисненого повітря дозволяє досягти значного підвищення енергоефективності компресорної установки. Зменшення споживання електроенергії, а також можливість точно контролювати продуктивність та виявляти втрати стисненого повітря, підтверджують ефективність запропонованих рішень.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що впровадження частотно-регульованого привода, автоматизованої системи керування та контролю енерго та пневмопараметрів дозволяє не лише суттєво підвищити енергоефективність та надійність роботи компресорної установки, але й оптимізувати технічне обслуговування, скоротити витрати на ремонт та знизити ризики аварійних простоїв.

References:

1. Moshnoriz M. (2024) EFFICIENCY OF THE DRIVE ELECTRIC MOTOR DURING ITS WORK. Monograph: SCIENTIFIC THOUGHT DEVELOPMENT: Innovative technology, Computer science, Security systems, Transport development, Architecture and construction. Minieiev S.P., Korniietskyi A., Dreval I., Skakalina O.V., Soroka K. Karlsruhe, Germany, June, 2024. Ref. SGE31-031 July 29, 2024. No. sge31-02 (2024): Scientific thought development '2024.. 203 pages, 12 chapters. IndexCopernicus. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-31-02>. P.29-37. Published: 2024-06-30. URL: <https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/issue/view/sge31-02/sge31-02>.
2. Фурса А. П., Мошноріз М. М. (2024) МЕТОД ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ. (2024). Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 335(3(1), 416-418. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-57>. URL: <https://heraldts.khmnua.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/253/232>.
3. Мошноріз М. М., Фурса А. П. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ



ВИРОБНИЦТВА СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ. Матеріали конференції «LIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2024)». Секція комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів [Електронний ресурс]. 20.03.2024 – 22.03.2024. ВНТУ, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінниця. С1-2. URL1: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/20821>. URL2: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/20821/17279>.

4. Теорія електропривода. Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; за ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494с.

5. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004.- 404 с.

6. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч1.

7. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч2.

8. В. М. Тарасов. Експлуатація компресорних установок – М.: Машинобудування, 1987. – 136 с.

9. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин : підручник для студентів вищих навч. закладів. 2-ге вид., виправлене. Львів : Афіша, 2003. – 560 с.

10. Надійність машин / Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Київ: Либідь, 2003. 424 с.



Scientific adviser: candidate of technical sciences (PhD), asoc. prof. Moshnoriz M.

sent: 19.08.2025

© Moshnoriz Mykola M., © Sukhlyak Y. A.

© Barchuk V. A., © Moshnoriz Maria M.