

УДК 629.735

Гвоздик Р.П.¹, Бабенко О.М.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ КЕРОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КЛАПАНАМИ

Осьові компресори є ключовими елементами багатьох промислових установок, зокрема газотурбінних двигунів (ГТД), газоперекачувальних агрегатів та систем стиснення повітря. Їхня ефективність безпосередньо впливає на загальну продуктивність та економічність цих систем. Одним із перспектив-

них напрямків підвищення ефективності осьових компресорів є впровадження керованих систем управління клапанами, які дозволяють оптимізувати їхню роботу в різних експлуатаційних режимах.

Необхідність підвищення ефективності осьових компресорів. Ефективність осьових компресорів є критично важливим параметром з кількох причин. По-перше, вища ефективність означає менше споживання енергії для досягнення необхідного ступеня стиснення та витрати повітря, що призводить до зниження експлуатаційних витрат. По-друге, підвищення ефективності може сприяти зменшенню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, особливо в контексті ГТД. По-третє, оптимізація роботи компресора може покращити загальну надійність та довговічність установки, запобігаючи виникненню нестабільних режимів роботи, таких як помпаж.

Традиційні методи регулювання осьових компресорів та їхні обмеження. Традиційно для регулювання продуктивності та забезпечення стійкості осьових компресорів використовуються різні методи, включаючи:

1. Зміна частоти обертання ротора: Цей метод ефективний для широкого діапазону регулювання, але може призводити до зниження ефективності на часткових навантаженнях.

2. Поворотні входні напрямні апарати (ВНА): Зміна кута встановлення лопаток ВНА дозволяє змінювати кут атаки повітря на перші ступені компресора, регулюючи витрату та ступінь стиснення. Однак ефективність регулювання обмежена, особливо на значних відхиленнях від розрахункового режиму.

3. Перепуск повітря: відбір частини повітря з проміжних або кінцевих ступенів компресора дозволяє запобігти помпажу на низьких витратах. Проте цей метод призводить до втрати енергії та зниження загальної ефективності.

Зазначені методи, хоча й є загальноприйнятими, мають певні обмеження щодо діапазону ефективного регулювання та можуть призводити до втрат енергії, особливо на нестандартних режимах роботи.

Керовані системи управління клапанами як інструмент підвищення ефективності. Керовані системи управління клапанами представляють собою більш гнучкий та потенційно ефективний підхід до регулювання роботи осьових компресорів. Ці системи передбачають встановлення спеціальних клапанів у проточній частині компресора, які можуть оперативно змінювати свій стан (відкриватися або закриватися) під керуванням автоматизованої системи. Залежно від конструкції та розташування клапанів, вони можуть виконувати різні функції.

Перепуск повітря з оптимізованим керуванням: Замість постійного або дискретного перепуску повітря, керована система може точно регулювати об'єм та місце відбору повітря залежно від поточних умов роботи компресора. Це дозволяє запобігати помпажу з мінімальними втратами енергії.

Принципи роботи керованих систем управління клапанами. Керована система управління клапанами складається з таких основних елементів:

1. Датчики параметрів компресора: Датчики тиску, температури, витрати повітря та вібрації встановлюються в різних точках проточної частини компресора для безперервного моніторингу його стану.

2. Блок управління: На основі даних від датчиків, блок управління (звичай електронний контролер) аналізує поточний режим роботи компресора та приймає рішення про необхідність зміни стану клапанів. Алгоритми управління можуть бути засновані на емпіричних залежностях, математичних моделях компресора або методах штучного інтелекту.

3. Виконавчі механізми клапанів: Залежно від типу клапанів та вимог до швидкодії, використовуються різні виконавчі механізми, такі як електромагнітні, пневматичні або гідравлічні приводи.

4. Керовані клапани: Самі клапани можуть мати різну конструкцію (наприклад, поворотні заслінки, пелюсткові клапани, соленоїдні клапани) залежно від їхнього призначення та місця встановлення.

Переваги використання керованих систем управління клапанами для підвищення ефективності. Впровадження керованих систем управління клапанами в осьових компресорах може забезпечити ряд значних переваг:

1. Розширення діапазону стабільної роботи: Точне та оперативне керування перепуском повітря або міжступеневими перетоками дозволяє запобігати помпажу та забезпечувати стабільну роботу компресора на ширшому діапазоні витрат та ступенів стиснення.

2. Підвищення ефективності на часткових навантаженнях: Оптимізоване керування потоком та ступенем стиснення дозволяє зменшити втрати енергії при роботі компресора не на розрахунковому режимі.

3. Покращення перехідних характеристик: Швидке реагування керованих клапанів на зміни умов роботи може покращити динамічні характеристики компресора, наприклад, при різких змінах навантаження.

4. Зниження рівня шуму та вібрації: Оптимізація потоку повітря в компресорі може сприяти зменшенню аеродинамічного шуму та вібрацій.

5. Можливість інтеграції з інтелектуальними системами управління: Керовані клапани можуть бути легко інтегровані з сучасними системами автоматичного управління, що дозволяє реалізувати складні алгоритми оптимізації роботи компресора в реальному часі.

Сучасні дослідження та розробки в галузі керованих систем управління клапанами. У світі активно ведуться дослідження та розробки в галузі керованих систем управління клапанами для осьових компресорів. Основні напрямки включають:

1. Розробка нових типів швидкодіючих та надійних клапанів: Створення клапанів, здатних ефективно працювати в складних умовах експлуатації ком-

пресора (високі температури, тиски, вібрації) та забезпечувати необхідну швидкість спрацьовування.

2. Вдосконалення алгоритмів управління: Розробка адаптивних алгоритмів, які б враховували нелінійні характеристики компресора та забезпечували оптимальне керування клапанами в різних умовах

3. Інтеграція керованих клапанів з активними системами керування потоком: Комбінування керованих клапанів з іншими технологіями активного керування потоком, такими як синтетичні струмені або плазмові актуатори, для досягнення синергетичного ефекту.

Практичні приклади застосування керованих систем управління клапанами. Хоча технологія керованих систем управління клапанами для осьових компресорів ще перебуває на стадії активного розвитку та впровадження, вже існують певні практичні приклади та прототипи, що демонструють її потенціал. Наприклад, в авіаційних ГТД використовуються системи керованого перепуску повітря для забезпечення стійкої роботи компресора на різних режимах польоту. У промислових компресорах розробляються системи з керованими міжступеневими перетоками для оптимізації їхньої роботи при змінних навантаженнях.

Висновок. Використання керованих систем управління клапанами є перспективним напрямком підвищення ефективності роботи осьових компресорів. Забезпечуючи гнучке та оперативне регулювання потоку повітря в проточній частині, такі системи дозволяють розширити діапазон стабільної роботи, підвищити ефективність на часткових навантаженнях, покращити перехідні характеристики та знизити рівень шуму та вібрації. Подальші дослідження та розробки в цій галузі, спрямовані на створення надійних та швидкодіючих клапанів, вдосконалення алгоритмів управління та оптимізацію їхньої інтеграції в конструкцію компресорів, відкривають значні можливості для покращення характеристик осьових

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Boyce M. Gas Turbine Engineering Handbook / M. Boyce. – Butterworth-Heinemann, 2011. – 1000 p.
2. Михалевич М. Г. Оптимізація керуючих впливів на електропневматичний клапан виконавчого пристрою керування зчепленням / М. Г. Михалевич // Вісник ХНАДУ. – 2021. – Вип. 93. – С. 128–135.