

УДК 629.12.06 (075)

А. О. МОРЯ, Є. І. ТРУШЛЯКОВ, Ф. О. ЧЕГРИНЦЕВ

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

РЕГУЛЮВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО КОМПРЕСОРА ЗА ДОПОМОГОЮ  
КАНАЛЬНОГО ДИФУЗОРА З ПОВОРОТНИМ ДИСКОМ

Проведено аналіз традиційних способів та засобів регулювання відцентрових нагнітальних машин, їх ефективності та економічності. Розглянуто вплив конструктивних особливостей на процеси та наслідки регулювання запропонованим каналним дифузorzом з поворотним диском. Проведено теоретичні дослідження каналного дифузorzа з поворотним диском з визначенням зони оптимальних режимів роботи запропонованого дифузorzа відцентрового компресора. Накреслено подальші дослідження на експериментальному стенді для випробування відцентрових нагнітальних машин та їх елементів.

**Ключові слова:** нагнітальна машина, компресор, дифузorz, канал, перемичка, тиск, напір, подача, регулювання, ККД.

1. Аналіз проблеми та постановка  
мети дослідження

Враховуючи широке застосування нагнітальних та компресорних машин у більшості галузей економіки (енергетика; нафтова, газова, хімічна промисловість; видобувна галузь; транспорт; холодильна техніка; сільське господарство; медицина, тощо) та той факт, що майже чверть електроенергії, що виробляється в державі, споживається нагнітальними машинами, стає зрозумілим, чому дослідженню та вдосконаленню нагнітальних машин надається значна увага з боку проєктантів і експлуатаційників. Характерною особливістю відцентрових машин є висока економічність при роботі близько розрахункової точки. Відхилення ж від розрахункового режиму, обумовлені змінними умовами експлуатації, спричиняють суттєве зниження ККД.

Оскільки час роботи компресора на нерозрахункових режимах складає більше половини терміну експлуатації, середньоексплуатаційний ККД значно менше розрахункового, і тому його підвищенню треба приділяти увагу. В першу чергу це стосується регулювання компресора, яке передбачає узгодження газодинамічних характеристик машин і мережі, на яку машина працює (найкраще, коли вимоги мережі задовольняються при найвищому ККД [7]).

Традиційні способи та засоби регулювання відцентрових компресорів розглянуто в [1, 2, 6].

**Мета роботи** – обґрунтування способу регулювання відцентрових компресорів і дослідження запропонованого каналного дифузorzа.

2. Обґрунтування запропонованого  
способу регулювання відцентрових  
компресорів і результати дослідження

Розглянемо роботу нагнітальної відцентрової

машини на мережу. Для цього сполучимо характеристики машини 1 і мережі I (рис. 1).

Точка М – перетинання характеристик машини 1 і мережі I – визначає можливий режим роботи, оскільки тільки в цій точці потреба мережі й продуктивність машини відповідають одна одній при рівності тисків, що розвиваються машиною, й необхідних мережі.

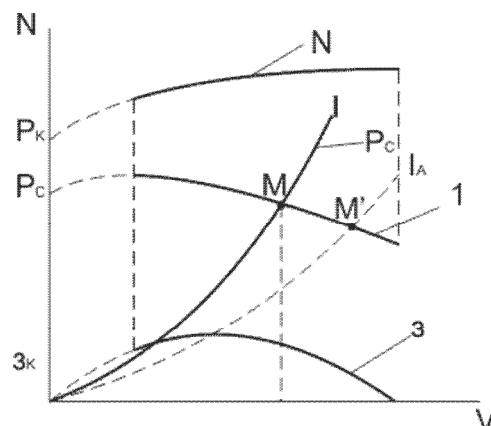


Рис. 1. Характеристики відцентрової машини та мережі

Якщо характеристика мережі зміниться й виразиться залежністю  $I_A$ , то компресор буде працювати на іншому режимі – точка М' буде єдиною точкою спільної роботи тієї ж машини, але на іншу мережу (мережа  $I_A$ ). При цьому тиск  $p_k$  зменшиться, витрати  $V$  і потужність  $N$ , що споживається машиною, збільшаться. Зміниться при цьому й ККД  $\eta$  машини.

Таким чином, характер зміни режимів роботи компресора в експлуатації залежить від особливостей мережі й характеристика машини в цілому показує її роботу на ряд споживаючих мереж. Звідси висновок, що одержання характеристики машини

можливе лише в результаті зміни характеристики мережі при роботі нагнітальної машини.

Відзначимо способи регулювання відцентрових машин, які найбільш часто зустрічаються.

1. За допомогою дроселювання потоку:
  - а) на нагнітанні; б) на всмоктуванні.
2. Зміна частоти обертання колеса.
3. Зміна напрямку потоку на вході в робоче колесо.
4. Поворотом лопаток дифузора.

Близьким до дроселювання на всмоктуванні є спосіб регулювання за допомогою ірисової діафрагми [5]. На рис. 2 наведено характеристики компресора. Ірисова діафрагма встановлюється безпосередньо перед робочим колесом на відстані порядку  $0,002D_2$  від входу в колесо, практично не збільшуючи габаритів компресора.

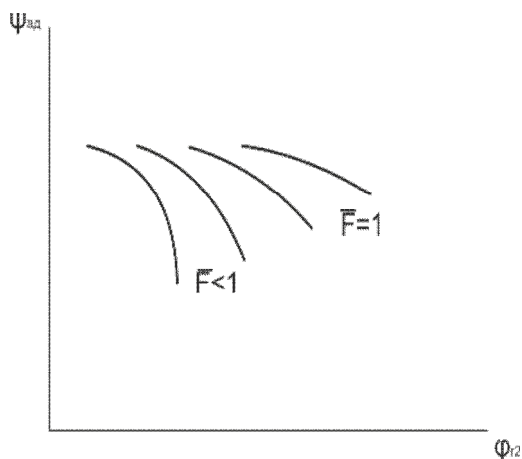


Рис. 2. Характеристики при регулюванні ірисовою діафрагмою на всмоктуванні

Як видно з наведених експериментальних даних (де  $F$  – відносна площа входу на рис.2), такий спосіб дозволяє робити досить глибоке регулювання машини у бік зменшення витрати, змінюючи при цьому характеристику компресора. Економічність регулювання за допомогою ірисової діафрагми практично однакова із вхідними регулюючими апаратами.

#### Розділова діафрагма в безлопатевому дифузорі [4]

Регулювати витрати відцентрового компресора можна за допомогою складеної рухомої розподільної діафрагми в безлопатевому дифузорі, конструкція якого запропонована авторами (рис. 3).

Діафрагма складається з двох симетричних частин, кожна з яких має клинову форму. Вона може вбиратися в кишені на стінках дифузора. Поблизу колеса кишені мають кільцеві краплеподібні камери,

що приводять до поліпшення структури потоку за рахунок зсуву границі відриву потоку від стінок в область більших радіусів. При стикуванні діафрагми в її середнім положенні дифузор розподіляється на дві рівні частинки зі збільшенням ширини вниз по потоку.

При роботі компресора на малих витратах обидві частини діафрагми перебувають кожна у своїй кишені (рис. 3,а), і робота компресора здійснюється по характеристиці 1 (рис. 4). Зі збільшенням витрат для збереження високих значень ККД обидві частини діафрагми висуваються з бічних кишень у стінках дифузора (рис. 3,б) і робота здійснюється по характеристиці 2 (рис. 4).

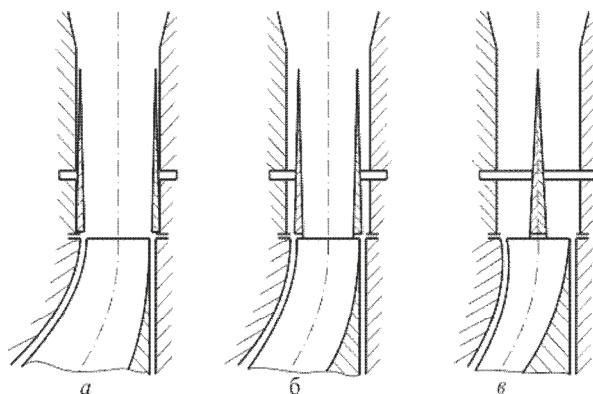


Рис. 3. Конструктивна схема безлопатєвого дифузора з розділовою рухомою діафрагмою

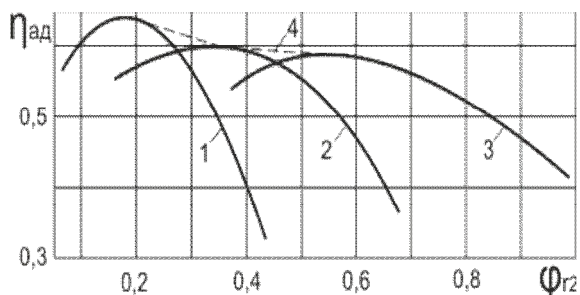


Рис. 4. Характеристики компресора при різних положеннях рухомої розділової діафрагми

При дальшому збільшенні витрат обидві частини діафрагми стикуються в середній частині меридіонального перетину, утворюючи суцільну діафрагму (рис. 3,в). Дифузор розділений на дві частини, кожна з яких утворена стінкою кишені й поверхнею діафрагми. Компресор працює по характеристиці 3 (див. рис. 4). Змінюючи місце діафрагми, можна забезпечити роботу за будь-якою з безлічі характеристик, укладених між кривими 1 і 3, що дозволяє значно розширити зону високоекономічної роботи відцентрового компресора (крива 4, що їх обгинає, на рис. 4).

Порівняння економічності способів регулювання дроселюванням на нагнітанні і на всмоктуванні показує, що за рівних умов дроселювання на всмоктуванні не гірше, а для лопаток, загнутих назад, - краще, ніж дроселювання на нагнітанні.

Більш економічним є спосіб регулювання поворотними лопатками на вході в нагнітач, який виграє у 15-20 % питомої потужності порівняно з дроселюванням.

Найбільш економічним (якщо не враховувати втрати приводу) виглядає регулювання зміненням швидкості обертання робочого колеса.

Стосовно регулювання за допомогою ірисової діафрагми, то його економічність близька до регулювання поворотними лопатками у вхідному пристрої.

Регулювання розділовою діафрагмою безлопаткового дифузора значно розширює зону високо економічної роботи компресора.

### Конструкція, склад та принцип дії каналного дифузора з поворотним диском

Нижче подано результати аналізу можливості змінення характеристик відцентрових машин за допомогою каналного дифузора, який складається із нерухомого та поворотного дисків, обладнаних перемичками, які утворюють відповідні канали. Конструкція такого дифузора захищена авторським свідоцтвом на винахід [3] та наведена на рис. 5.

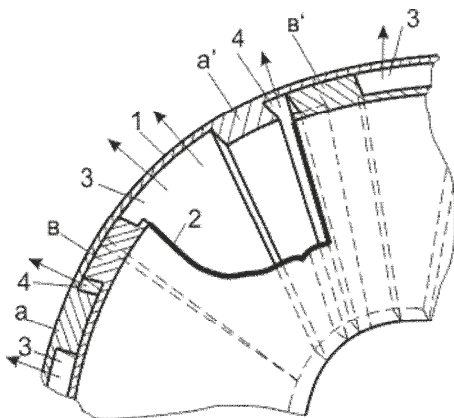


Рис. 5. Канальний дифузор з поворотним диском

Перемички каналів дифузора утворюються двома частинами (а і в, а' і в', а'' і в'' і т.д.), одні з яких, наприклад а, а', а'' ... розміщені на нерухомому диску 1, а другі в, в', в'' ... – на рухомому диску 2. За провертання диска 2 в напрямку годинникової стрілки між частинами а і в (а' і в' і т.д.) створюються канали 4, які збільшуються в окружному напрямку, а канали 3, відповідно, зменшуються. Таким чином, число каналів подвоюється.

З досягненням певного кута повороту  $\varphi_{\max}$  частини в (в', в'') торкаються протилежних частин межуючих перемичок (обмежуючи подальше провертання), а саме: частина в впирається в частину а, в в' і т.д., через це кількість каналів стає рівною вихідній; водночас як і в проміжних положеннях так і в правому крайньому дифузорність каналів безперервно змінюється, відрізняючись від вихідної. Це змінення дифузорності залежить не тільки від положення частин, що рухаються в, в', в''..., а й від геометрії останніх, а саме від величини співвідношення кутів  $\beta_1$  та  $\beta_2$ .

На рис. 6 наведено схему двох каналів: I-го – вихідного, до повертання частини в, в', в''... та II-го – після повертання на максимальний кут  $\varphi_{\max}$ . Як свідчить рис. 6, в положенні II ширина входу до каналу  $v_2$  істотно менше, ніж  $v_1$  за практично однакових значень ширини за виходу з каналу, тобто і дифузорність каналу в другому випадку буде значно більшою. До цього ж, дифузорність каналу II буде більше, чим меншою буде сума кутів  $\beta_1$  і  $\beta_2$  та буде змінюватися в залежності від співвідношень кутів  $\beta_1$  і  $\beta_2$  (див. рис. 6).

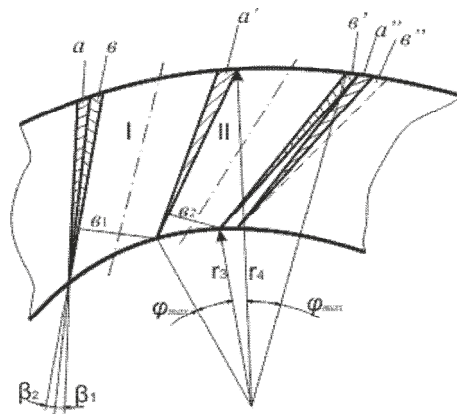


Рис. 6. Розрахункова схема дифузора

Оскільки кількість каналів запропонованого дифузора, в залежності від режиму роботи машини, може змінюватися (удвічі), то слід враховувати це у разі вибору кількості каналів. У випадку, коли їх (каналів) мало (вихідне положення поворотного диску), за зміни кута установки виникає різке змінення ступеня дифузорності на вхідній ділянці, де швидкості потоку мають найбільші значення.

З іншого боку, надмірне збільшення кількості каналів може викликати неоптимальне співвідношення сторін поперечного перетину каналів, а саме – розмірів в площині, нормальній вісі обертання; та в осьовому напрямку. Практика доводить, що доцільним буде така кількість каналів, в яких початковий перетин (на радіусі  $r_1$ ) дифузорного каналу був би близьким до квадратного.

## Висновки

Проаналізовано вплив конструктивних особливостей на процеси та наслідки регулювання запропонованим каналним дифузorzом з поворотним диском. За результатами теоретичного дослідження визначено зони оптимальних режимів роботи запропонованого дифузorzа відцентрового компресора.

## Література

1. Лившиц, С. П. *Аэродинамика центробежных компрессорных машин [Текст] / С. П. Лившиц. – М.-Л. «Машиностроение», 1966. – 340 с.*
2. *Регулирование режима работы центробежных компрессорных установок [Текст]. – М. : ЦИ-НТИ – Химнефтемаш, 1982. – 36 с.*
3. А.с. СССР. *Канальный диффузор центробе-*

*жного компресора [Текст] / А. А. Моря, Ф. А. Чегринцев, В. А. Редькин, Е. И. Трушляков. – № 1800132 ; заявлено 12.12.90 ; опубл. 7.03.93, Бюл. № 9.*

4. А.с. СССР. *Безопасный диффузор центробежного компресора [Текст] / Ю. В. Захаров, А. Я. Шквар, А. А. Моря, И. П. Есин (СССР). – № 881376 ; опубл. 30.03.81, Бюл. № 42.*

5. А.с. СССР. *Устройство для регулирования производительности ступени турбокомпресора [Текст] / А. Я. Шквар, А. А. Моря, В. И. Осадчук (СССР). – № 920263 ; опубл. 15.04.82, Бюл. № 14.*

6. *Центробежные компрессорные машины [Текст] / Ф. М. Чистяков и др. – М. : «Машиностроение», 1969. – 328 с.*

7 Будовский, В. Б. *Системы антикомпажного и режимного регулирования компрессоров [Текст] / В. Б. Будовский // Хим. техн. – 2004. – № 5. – С. 27-29.*

*Надійшла до редакції 20.03.2014, розглянута на редколегії 11.06.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М. І. Радченко, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА С ПОМОЩЬЮ КАНАЛЬНОГО ДИФFUЗОРА С ПОВОРОТНЫМ ДИСКОМ

*А. А. Моря, Е. И. Трушляков, Ф. А. Чегринцев*

Проведен анализ традиционных способов и устройств регулирования центробежных нагнетательных машин, их эффективности и экономичности. Рассмотрено влияние конструктивных особенностей на процессы и результаты регулирования. Описана схема, конструкция и принцип регулирования предложенным каналным диффузором с поворотным диском. Проведены теоретические исследования каналного диффузора с поворотным диском с определением зоны оптимальных режимов работы предложенного диффузора центробежного компрессора. Намечены дальнейшие исследования на экспериментальном стенде для испытания центробежных нагнетательных машин и их элементов.

**Ключевые слова:** нагнетательная машина, компрессор, диффузор, канал, перемычка, давление, напор, подача, регулирования, КПД.

## REGULATION OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR BY THE CHANNEL DIFFUSER WITH THE ROTARY DISC

*A. A. Morya, E. I. Trushlyakov, F. A. Chegrinzev*

The analysis of traditional ways and means of regulating centrifugal injection machines, their effectiveness and efficiency. The effect of structural features on the processes and effects of the proposed regulation with rotary channel diffuser disc. Theoretical study of the diffuser channel with rotary drive to the definition of the zone of optimal modes proposed diffuser of a centrifugal compressor. Outlined further research on the experimental bench for testing centrifugal injection machines and their components.

**Key words:** pressuring machine, compressor, diffuser channel, bridge, pressure, flow, control, efficiency.

**Моря Анатолій Олексійович** – канд. техн. наук, доцент каф. кондиціонування та рефрижерації, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв

**Трушляков Євген Іванович** – канд. техн. наук, проф. каф. кондиціонування та рефрижерації, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв

**Чегринцев Фелікс Олександрович** – канд. техн. наук, проф. каф. кондиціонування та рефрижерації, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв.