

- Dialogue-Solution» KDS-2 2009, October, 2009. — Ukraine, Kyiv, 2009. — С. 257–267.
7. Smirnova, A. Steps in the development of the information networks' user model as badly formalized object [Text] / A. Smirnova // Problem of computer intellectualization. — Kyiv-Sofia, 2012. — Р. 64–70.
  8. Смирнова, А. С. Разработка модели пользователя информационных сетей как плохоформализованного объекта [Текст] / А. С. Смирнова // International Journal «Information models and analysis». — ITNEA, Bulgaria, 2013. — V. 2, № 3. — Р. 285–291.
  9. Смирнова, А. С. Подход к построению модели пользователя информационных сетей как плохоформализованного объекта [Текст] / А. С. Смирнова // Холодильна техніка і технологія. — 2013. — № 2(142). — С. 105–108.
  10. Гладун, В. П. Прогнозирование на основе растущих пирамидальных сетей [Текст] / В. П. Гладун, Н. Д. Ващенко, В. Ю. Величко // Программные продукты и системы. — 2002. — Вып. 2. — С. 26.
  11. Ендрюс, Дж. Математичне моделювання [Текст] / Дж. Ендрюс, Р. Мак-Лоун. — Москва: Світ, 1979. — С. 235–248.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМОГО АНАЛИЗА В РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Разрабатывается модель пользователя Информационных сетей как плохоформализованного объекта. Рассмотрены и проанализированы методы кластерного анализа и растущих

пирамидальных сетей для построения формализованной модели пользователя Информационных сетей. Предложено использование метода q-анализа для построения математической модели и структуры общности пользователей Информационных сетей относительно их характеристик и полученных в опросе данных.

**Ключевые слова:** информационные сети, пользователь, плохоформализованные объекты, системный анализ, пирамидальные сети, q-анализ.

*Смирнова Анастасія Сергіївна, аспірант, кафедра інформаційно-комунікаційних технологій, Інститут холоду, криотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартинівського, Одеська національна академія харчових технологій, Україна,  
e-mail: asya.smi@gmail.com.*

*Смирнова Анастасія Сергеевна, аспирант, кафедра информационно-коммуникационных технологий, Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В. С. Мартыновского, Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина.*

*Smirnova Anastasiia, Institute of Refrigeration, cryotechnology and eco-energy, Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine, e-mail: asya.smi@gmail.com*

УДК 681.513.52

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.32580

Лагойда А. І.

## ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИМ АГРЕГАТОМ

*У статті на основі функції передачі відцентрового нагнітача типу Ц-6,3, як об'єкта керування, який входить в систему антипомпажного регулювання газоперекачувальним агрегатом з газотурбінним приводом, розроблено структури багатопараметричних регуляторів. У програмному продукті Matlab здійснено моделювання перехідних характеристик з багатопараметричними регуляторами та визначено їхні параметри налаштування, що значно підвищить швидкодію системи.*

**Ключові слова:** помпаж, відцентровий нагнітач, моделювання, регулятор, налаштування, функція передачі, керування, швидкодія.

### 1. Вступ

Основною задачею використання багатопараметричних регуляторів для керування газоперекачувальним агрегатом (ГПА) є збільшення швидкодії системи антипомпажного регулювання, оскільки помпаж є одним з найнебезпечніших режимів роботи.

Тому, для уникнення даного режиму потрібно під час експлуатації відцентрового нагнітача завжди підтримувати властивості системи в зазначених межах. Витрата газу через відцентровий нагнітач (ВН) є основним показником надійної і економічної роботи газоперекачувального агрегату і визначається за перепадом тиску на конфузори всмоктуючого патрубка ВН. Дуже важливим показником роботи ВН є ступінь підвищення тиску газу. Чим вищий даний показник, тим

менші витрати на транспортування газу. Тиск для ВН має свої межі, які зазначені у відповідних характеристиках, перевищення яких є недопустимим. Явище помпажу може наступити, коли ВН працює за об'ємних витрат нижчих  $130 \text{ м}^3/\text{хв}$ , або підвищеннях тиску вище 1,5 [1].

Швидкість спрацювання системи антипомпажного регулювання — це ключовий фактор для підвищення надійності роботи ГПА.

Дана проблема повинна розглядатись для кожного ГПА окремо, оскільки функції передачі кожного ВН відрізняються своїми параметрами. У даному випадку важливим стає розроблення багатопараметричного регулятора, який забезпечить оптимальний перехідний процес в реальній системі антипомпажного регулювання.

## 2. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

Провівши аналіз вітчизняних літературних джерел [2, 3] можна зробити висновок, що вирішення задачі антипомпажного керування ГПА можливе за допомогою методів, які базуються на аналізі витратно-напірних характеристик нагнітача, або на виявленні коливань у проточній частині нагнітача.

Проаналізувавши метод за витратно-напірними характеристиками [3], виявлено, що точка входження в зону помпажу, так, як і робоча точка ВН, постійно переміщуються як по відношенню одна до одної, так і до значення налагоджувальної лінії захисту від помпажу. Дане зміщення, тобто «зона помпажу» може сягати 20–40 % [4], що є недопустимо.

Метод виявлення коливань у проточній частині ВН відноситься до області методів раннього виявлення нестійкої роботи і ґрунтується на даних про динаміку зміни параметрів, які контролюються. Швидкодія формування сигналу про помпаж призводить до зменшення часу перебування компресора у помпажі і відповідно — до збільшення часу експлуатації компресора [5].

У роботах зарубіжних науковців I. Fabri [6] та С. R. Sparks [7] проаналізовано можливості підвищення швидкодії систем антипомпажного регулювання ВН ГПА в сучасних системах автоматичного керування.

Проаналізувавши переваги та недоліки даних методів доцільним є розробка методу, який оснований на використанні багатопараметричних регуляторів.

У промислових автоматичних системах рекомендовано застосовувати типові ПІД-регулятор, але коли точності регулювання стає недостатньо, ідуть на ускладнення інформаційної структури, прикладом чого служать каскадні системи автоматичного регулювання [8].

Метою даної роботи є розробка багатопараметричного швидкодійного регулятора для ВН типу Ц-6,3. Даний регулятор дасть змогу захистити ВН від помпажу, що сприяє підвищенню надійності роботи ГПА.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити структури багатопараметричних регуляторів;
- обрахувати оптимальні параметри налаштування;
- зробити порівняння та аналіз і вибрати оптимальний регулятор.

## 3. Результати досліджень розроблених регуляторів

На основі проведених досліджень отримали функцію передачі ВН ГПА [9]:

$$W(s) = \frac{7,688 \cdot 10^{-4} s + 0,619}{4,099 \cdot 10^{-5} s^2 + 1,526 \cdot 10^{-2} s + 1,358} \quad (1)$$

Для дослідження ВН ГПА програмним продуктом Matlab розроблено структурну схему системи (рис. 1) та ПІД, ПІДД2, ПІДД2Д3-регулятори, загальну структуру яких наведено на рис. 2.

Для визначення оптимальних параметрів налаштування використано метод параметричної оптимізації. Даний метод реалізуємо в Matlab за допомогою блоку Check Step Response Characteristics. Результати дослідження наведені у табл. 1.

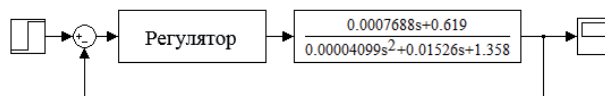


Рис. 1. Структурна схема системи керування з регулятором в Matlab

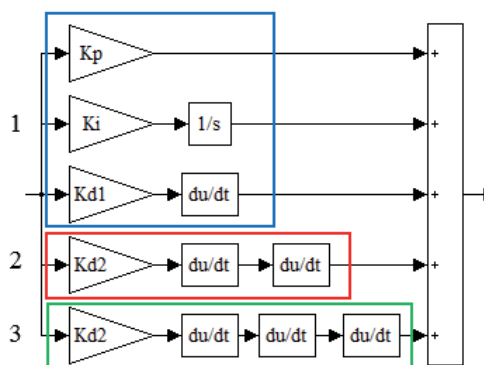


Рис. 2. Алгоритмічна структура ПІД (1), ПІДД2 (1+2), ПІДД2Д3 (1+2+3) регуляторів

Таблиця 1

Параметри налаштування регуляторів

| Регулятор | Параметри налаштування |          |          |             |             |
|-----------|------------------------|----------|----------|-------------|-------------|
|           | $K_p$                  | $K_i$    | $K_{d1}$ | $K_{d2}$    | $K_{d3}$    |
| ПІД       | 29,7958                | 867,4924 | 0,0579   | —           | —           |
| ПІДД2     | 29,7958                | 830      | 0,0579   | 9,7480e-010 | —           |
| ПІДД2Д3   | 33,3                   | 950      | 0,0528   | 5,9480e-009 | 3,7480e-022 |

Як відомо [10], швидкодія системи буде найбільшою тоді, коли функція передачі регулятора буде оберненою до функції передачі об'єкта керування. Отже, функція передачі ідеального регулятора матиме такий вигляд:

$$W_p(s) = \frac{4,099 \cdot 10^{-5} s^2 + 1,526 \cdot 10^{-2} s + 1,358}{7,688 \cdot 10^{-4} s + 0,619} \quad (2)$$

На основі функції передачі регулятора (2) розроблено структурну схему (рис. 3) та ПІДД2-, ПІДД-регулятори (рис. 4).

Результати моделювання перехідних процесів з відповідними регуляторами наведені у табл. 2.

На основі проведених досліджень отримано якісні показники перехідних процесів (табл. 3).

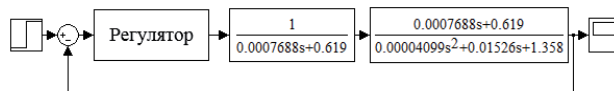


Рис. 3. Структурна схема з регулятором в Matlab

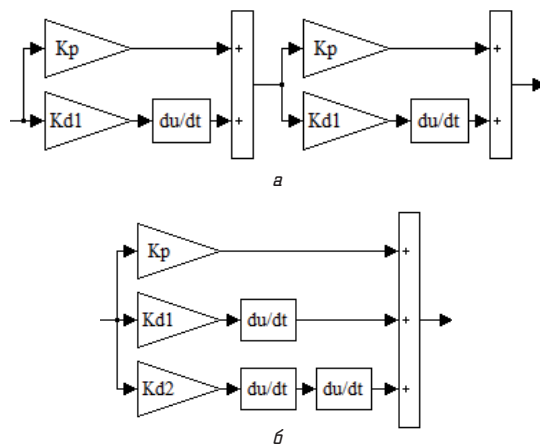


Рис. 4. Структурні схеми: а — ПІДД-регулятор;  
б — ПІДД2-регулятор

Таблиця 2

Параметри налаштування регуляторів

| Регулятор | Параметри налаштування |          |          |             |
|-----------|------------------------|----------|----------|-------------|
|           | $K_{p1}$               | $K_{p2}$ | $K_{d1}$ | $K_{d2}$    |
| ПІДД2     | 1,0324e + 003          | —        | 0,3311   | 6,5990e-006 |
| ПІДПД     | 478                    | 250      | 0,0065   | 0,0100      |

Таблиця 3

Показники якості перехідного процесу

| Тип регулятора | Показники якості перехідного процесу |                 |
|----------------|--------------------------------------|-----------------|
|                | час розгону, с                       | перерегулювання |
| ПІД            | 0,01125                              | 0 %             |
| ПІДД2          | 0,01075                              | 0 %             |
| ПІДД2Д3        | 0,0087                               | 0 %             |
| ПІДД2          | 0,0012                               | 0 %             |
| ПІДПД          | 0,0002                               | 0 %             |

Провівши аналіз даних табл. 3 бачимо, що в порівнянні з ПІД-регулятором швидкодія системи значно підвищилась.

#### 4. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. В програмному продукті Matlab розроблені структурні багатопараметричні регулятори.

2. За допомогою блоку Check Step Response Characteristics, який знаходиться в бібліотеці Simulink, визначені оптимальні параметри налаштування відповідних регуляторів.

3. Зроблено порівняльний аналіз ПІД-регулятора з багатопараметричними, який показує, що швидкодія системи збільшиться при: ПІДД2-регуляторі на 4,44 %, ПІДД2Д3-регуляторі на 22,67 %, ПІДД2-регуляторі на 89,33 %, та ПІДПД-регуляторі на 98,22 %.

#### Література

1. Технологічні вимоги до систем антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів [Текст]. — К.: ДК «Укртрансгаз», 1999. — № 399. — 9 с.

2. Козакевич, В. В. Автоколебання (помпаж) в компресорах [Текст] / В. В. Козакевич. — М.: Машиностроение, 1974. — 264 с.
3. Измайлов, Р. А. Нестационарные процессы в центробежных компрессорах [Текст] / Р. А. Измайлов, К. П. Селезнев // Химическое и нефтяное машиностроение. — 1995. — № 11. — С. 20–24.
4. Мамонов, О. І. Впровадження енергозберігаючих технологій при протипомпажному керуванні нагнітачами [Текст] / О. І. Мамонов, В. О. Таргонський, В. В. Ніщета // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». — 2006. — № 1(37). — С. 6–7.
5. Письменский, И. Л. Многочастотные нелинейные колебания в газотурбинном двигателе [Текст] / И. Л. Письменский. — М.: Машиностроение, 1987. — 128 с.
6. Fabri, I. Rotating stall in axial flow compressors [Text] / I. Fabri // Proceedings of the Conference Cambridge. Session 5: Unsteady flow effects, Paper 9. — Internal Aerodynamics, Institution of Mechanical Engineers, 1967. — P. 96–110.
7. Sparks, C. R. On the Transient Interaction of Centrifugal Compressors and Their Piping Systems [Text] / C. R. Sparks // Journal of Engineering for Power. — 1983. — Vol. 105, № 4. — P. 891–901. doi:10.1115/1.3227498
8. Смирнов, Н. И. Робастные многопараметрические регуляторы для объектов с транспортным запаздыванием [Текст] / Н. И. Смирнов, В. Р. Сабанин, А. И. Репин // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2006. — № 7. — С. 82–86.
9. Лагойда, А. І. Аналіз динамічних властивостей відцентрового нагнітача ППА з газотурбінним приводом як об'єкта керування [Текст] / А. І. Лагойда, Ю. Є. Бляут, Є. М. Лесів, Г. Н. Семенцов // Нафтогазова енергетика. — 2012. — № 2(18). — С. 72–85.
10. Лагойда, А. І. Метод підвищення швидкодії системи автоматичного антипомпажного регулювання газоперекачувального агрегату [Текст] / А. І. Лагойда, Г. Н. Семенцов // Сборник научных трудов SWorld. — 2013. — № 9. — С. 35–45.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИМ АГРЕГАТОМ

В статье на основе функции передачи центробежного нагнетателя типа Ц-6,3, как объекта управления, входящего в систему антипомпажного регулирования газоперекачивающим агрегатом с газотурбинным приводом, разработаны структуры многопараметрических регуляторов. В программном продукте Matlab осуществлено моделирование переходных характеристик с многопараметрическими регуляторами и определены их параметры настройки, что значительно повысит быстродействие системы.

**Ключевые слова:** помпаж, центробежный нагнетатель, моделирование, регулятор, настройка, функция передачи, управление, быстродействие.

*Лагойда Андрій Іванович, аспірант, кафедра автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, e-mail: And\_ij@mail.ru.*

*Лагойда Андрей Иванович, аспирант, кафедра автоматизации технологических процессов и мониторинга в экологии, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.*

*Lagoyda Andriy, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, e-mail: And\_ij@mail.ru*