

НАУКОВО-ВИРІВНИЧА КОРПОРАЦІЯ
"КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ"

На правах рукопису

МАКАРЕНКО

Володимир Миколайович

УДК 621.515.1:681.81

**АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ ГРУПКОЮ
ТУРБОКОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК НА ЗМІННИХ РЕЖИМАХ**

Спеціальність 05.13.07 - "Автоматизація технологічних
процесів і виробництва"

Автореферат дисертації на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ-1994

Київський інститут автоматики
ІН УкрАкадемія Наук



00802238 (N)

АВ 29.752

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Науково-виробничій корпорації "Київський інститут автоматики".

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ГРИЦЕНКО Анатолій Зіновійович.

Офіційні опоненти:

- 1) доктор технічних наук, професор ШВИЛЮВ Кирило Андрійович
- 2) кандидат технічних наук, професор КВАСКО Михайло Зіновійович.

Провідне підприємство: Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М. В. Фрунзе Міністерства машинобудування, військово-промислового комплексу і конверсії України, м. Суми.

Захист відбудеться "8" червня 1994 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К109.02.01 Науково-виробничої корпорації "Київський інститут автоматики" за адресою: 254107, м. Київ-107, вул. Нагірна, 22.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ІВК "Київський інститут автоматики".

Автореферат розісланий "28" квітня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук

А. Терещук

ВОЛНІСЬКИЙ А. М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Транспортування природного газу по магістральним газопроводам вимагає витрат газу на власні потреби компресорних станцій (до 10 % від загального об'єму перекачуваного газу). Понад 80 % цих витрат складає паливний газ газотурбінних приводів газоперекачувальних агрегатів (ГПА), які утворюють найбільшу групу турбокомпресорних установок, що використовуються в промисловості. Скорочення споживання паливного газу можна досягти оптимізацією роботи ГПА, що є основним джерелом поліпшення техніко-економічних показників функціонування як компресорної станції (КС), так і магістрального газопроводу в цілому.

Прийнята в АСУ ГП КС реалізація функцій регулювання тиску газу на виході КС та частоти обертання валу силової турбіни і протипомилкового регулювання витрат газу через компресор ГПА не використовує усіх потенційних можливостей стримування високої економічної роботи КС на змінних режимах. Це пояснюється тим, що системи агрегатної автоматики вирішують свої локальні завдання, які мало пов'язані з загальним завданням функціонування усієї КС. Внаслідок цього стає імовірним вихід одного із агрегатів на граничний режим роботи і поява неекономічного режиму стискування та транспортування газу, що призводить до зниження продуктивності КС.

Успішного вирішення передічених завдань можна досягти, якщо систему управління турбокомпресорною установкою (САУ ТКУ) створювати як багатозв'язну цифрову систему управління з перемінною структурою.

Мета та завдання роботи. В дисертаційній роботі поставлене завдання синтезу багатозв'язної цифрової системи управління групою ТКУ. Для виконання цієї мети необхідно:

1. Одержати математичний опис багатозв'язної САУ ТКУ.
2. Розробити структуру багатозв'язної САУ ТКУ.
3. Визначити критерії взаємодії контурів регулювання САУ ТКУ.
4. Визначити оптимальні параметри налаштунок цифрових регуляторів САУ ТКУ.
5. Розробити алгоритм управління групою ТКУ.
6. Спровести експериментальне дослідження запропонованої багатозв'язної САУ ТКУ в умовах промислової експлуатації.

Об'єкт дослідження - це компресорні лінії газоліній компресорної станції, що розроблені Сумським машинобудівним НДІ ім. М. В. Згурієва для Сьомодорського нафтогазового родовища. Компресорна

лінія складається з газотурбінного приводу, створеного на базі зв'язаного газотурбінного двигуна НК-180Т, та турбокомпресора. В турбокомпресорі на силовому валі, зв'язаного через мультиплікатор з валом силовій турбіні приводу, послідовно встановлені компресори низького та високого тиску, які з'єднані між собою через апарат повітряного охолодження газу, що стискується.

Методика дослідження. При проведенні досліджень використовувались методи теорій газодинамічної стійкості компресорів, оптимального управління об'єктами з зосередженими та розподільними параметрами, систем з перемінною структурою і багатозв'язного регулювання, методи аналізу та синтезу багатомірних дискретних систем управління і методи цифрового моделювання.

Наукова новина роботи полягає в тому, що:
запропоновано математичну модель ТКУ як об'єкту багатозв'язного регулювання;

розроблено метод управління групою ТКУ, який враховує змінні режими роботи компресорної станції;

розроблено метод прискореного та економічного пуску і навантаження ТКУ;

запропоновано метод визначення положення робочої точки компресора на його газодинамічній характеристиці з ідентифікацією причини зміни режиму роботи компресора;

здійснено синтез цифрових систем регулювання САУ ТКУ.

Практична цінність роботи. Результати здійснених досліджень дають можливість обґрунтовано створювати алгоритми управління компресорними станціями магістральних газопроводів та газоліфтними компресорними станціями нафтопромислів.

На важливі автор виносить:

математичну модель ТКУ як об'єкту багатозв'язного регулювання;

метод управління групою ТКУ на змінних режимах роботи;

метод визначення положення робочої точки компресора на його газодинамічній характеристиці;

структуру багатозв'язної цифрової САУ ТКУ.

Реалізація результатів роботи. Отримані наукові результати використані при розробці АСУ газоперекачувальним агрегатом потужністю 16 МВт (АСУ ГПА-Ц-16М) та АСУ ТП газоліфної компресорної станції (АСУ ТП ГЛКС).

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались і обговорювались на всеукраїнських науково-технічних конференціях "Створення компресорних машин та установок, які забезпечують

інтенсивний розвиток галузей паливно-енергетичного комплексу" (м. Суми, 1989) і "Проблеми створення, досвід розробки, впровадження автоматизованих систем управління в нафтовій, газовій, нафтохімічній промисловості та об'єктів нафтопостачання" (м. Сумгайт, 1990), всесоюзній науково-технічній нараді "Створення та впровадження систем автоматичного і автоматизованого управління технологічними процесами" (м. Новгород, 1986), республіканських семінарах-нарадах "Стан та перспективи розвитку основних напрямків автоматизації в газовій промисловості" (м. Яремча, 1990) і "Перспективне планування та науково-технічне забезпечення комплексного розвитку ВО "Укргазпром" (м. Київ, 1990).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 17 друкованих робіт, у тому числі описи винаходів по чотирьох авторських свідоцтвах і двох позитивних рішень про видачу авторських свідоцтв.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків по роботі, бібліографії та п'яти додатків. Вона містить в собі 151 сторінку, у тому числі 38 малюнків на 42 сторінках і бібліографію із 68 найменувань на 8 сторінках. В додатках наведені вхідні дані по роботі, розрахунок числових значень параметрів САУ ТКУ, завдання та результати цифрового моделювання, розроблені схеми алгоритмів управління та матеріали по впровадженню САУ ТКУ у виробництво.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі дається аналіз існуючих систем управління та регулювання технологічних параметрів ТКУ, розглянуті вимоги до САУ ТКУ і сформульоване завдання дисертаційної роботи.

В останні роки на КС знаходять широке застосування блочні ППА з газотурбінним приводом транспортного типу (авіаційні та судові двигуни потужністю від 6 до 25 МВт) і з відцентровим повнонапірним компресором для стиску газу. Агрегати являють собою складний багатозв'язний об'єкт управління, який має кілька регульованих параметрів, стабілізація яких здійснюється при допомозі одного керуючого впливу - шляхом змінювання кількості палива, яке надходить в камеру згоряння приводу.

Необхідність у різкому зменшенні експлуатаційних витрат і забезпеченні безаварійної роботи ТКУ на граничних режимах, які обираються для одержання максимальної продуктивності КС, стимулювала на початку 90-х років ряд зарубіжних фірм до створення спе-

дем управління агрегатного та станційного рівней на базі сучасних обчислювальних засобів і розвинутого математичного забезпечення. В результаті вдалося здійснити адаптивне управління ТКУ керуючі впливи зміняться в залежності від стану об'єкту управління. Це підвищило економічну ефективність управління ТКУ.

Вільність компресорних станцій обладнані регуляторами тиску газу на виході КС, які змінюють завдання регулятора частоти обертання валу силової турбіни кожного ГПА. Основним недоліком САУ є те, що система не враховує в повній мірі поточний режим роботи конкретного агрегату. Це може спричинити до помпажу компресорів ГПА, які працюють в зоні малих витрат газу, і не дозволяє здійснити якісне управління як окремими агрегатами, так і КС в цілому.

На практиці часто поєднують два різних методи протипомпажного управління режимом роботи компресора, а саме: протипомпажне управління здійснюють шляхом послідовної зміни режиму роботи компресора двома керуючими впливами - змінюванням частоти обертання валу та перегуском газу з виходу на вхід компресора.

Необхідність підвищення економічності роботи КС обумовило створення багатозв'язної, цифрової системи регулювання параметрів ТКУ, яка забезпечує екстремум критерію оптимальності функціонування об'єкта управління. Управління ТКУ на змінних режимах буде раціональним, якщо в САУ ТКУ реалізуються функції:

- 1) мінімізації втрат корисної потужності на непродуцтивні витрати газу, що стискується, шляхом зменшення об'єму та часу циркуляції газу під час пуску і протипомпажного управління ТКУ;
- 2) забезпечення стійкої роботи ТКУ на граничних режимах, включаючи режим малих споживань газу;
- 3) формування впливів по завданню з урахуванням поточного режиму роботи компресора;
- 4) формування керуючих впливів з урахуванням причини зміни режиму роботи ТКУ.

Другий розділ присвячений визначенню критеріїв взаємодії систем регулювання САУ ТКУ, розробці методу управління групою ТКУ та вибору структури багатозв'язної САУ ТКУ.

Взаємодія систем регулювання САУ ТКУ базується на:

- 1) взаємозв'язку зон регулювання параметрів, який здійснюється по поточному режиму роботи компресора згідно залежностей:

$$X_p = X_p^* - P_{кс} \quad ;$$

$$X_n = X_n^* - \eta \quad ;$$

$$X_p^* = \begin{cases} P_{pc}^*, & \text{КОЛИ } n \geq n_{max}, n < n_{min} \\ P_{pc}^* + K_1(P_{pc}^* - P_{pc}) - K_2(n - n_{ном}), & \\ P_{pc}^* + K_1(P_{pc}^* - P_{pc}) - K_2(n - n_{ном}) + K_4(X_{ap} - |X_a|), & \\ P_{pc}^* + K_4 X_a, & \text{КОЛИ } n_{min} \leq n < n_{max}, Q_k < Q_{kmin} + \Delta Q_{kp} \end{cases} \quad (1)$$

$$X_n^* = \begin{cases} n_{max}, & \text{КОЛИ } n \geq n_{max} \\ n_{max} - K_3(n_{max} - X_p^*), & \\ n_{max} - K_3(n_{max} - X_p^*) + K_5(X_{an} - |X_a|), & \\ n_{max} - K_3(n_{max} - X_p^*) + K_5(X_{an} - |X_a|), & \end{cases} \quad (2)$$

де X_p, X_p^*, X_n, X_n^* - величини розузгодження та завдання в контури регулювання відповідно тиску газу на виході КС і частоти обертання валу силової турбіни (валу компресора), МПа, об/хв; $n, n_{ном}, n_{min}, n_{max}$ - поточне, номінальне, мінімальне та максимальне значення частоти обертання валу силової турбіни, об/хв; X_a - поточне значення величини віддаленості робочої точки компресора від заданої межі помпажу; P_{pc}, P_{pc}^* - поточне та задане значення тиску газу на виході КС, МПа; n_{max} - максимальний тиск газу в нагнічуваному трубопроводі компресора, МПа; Q_k, Q_{kmin} - поточне та мінімальне значення витрат газу через компресор, м³/хв; $\Delta Q_{kp}, \Delta Q_{kr}$ - величини зон спільної роботи системи автоматичного протипомпажного регулювання (САРП) відповідно з системою регулювання частоти обертання валу силової турбіни (РЧСТ) та САР тиску на виході КС, м³/хв; X_{an}, X_{ap} - величини зміщення робочої точки компресора, які пропорційні зонам спільної роботи систем регулювання; K_1, K_2, K_3 - коефіцієнти пропорційності; K_4, K_5 - коефіцієнти взаємозв'язку між САРП і відповідно САР тиску на виході КС та РЧСТ, МПа, об/хв;

2) формуванні керувальних впливів САУ ТКУ з урахуванням пріоритету виконання функцій. По ступеню важливості пріоритети такі:

при помпажній ситуації в роботі компресора САРП здійснює протипомпажне управління незалежно від режиму роботи РЧСТ та САР тиску на виході КС;

при досягненні максимально допустимої частоти обертання валу силової турбіни РЧСТ здійснює обмеження зростання частоти обертання незалежно від сигналів, які надходять в систему від САРП та САР тиску на виході КС.

Запропонований метод управління групою ТКУ базується на розширенні функцій агрегатних САРП.

Застосування САРП для управління ТКУ на режимі пуску дозволяє реалізувати метод примусового навантаження компресорної установки при автоматичному підвищенні за заданою програмою частоти обертання валу компресора від n_{\min} до $n_{\text{ном}}$. При цьому переміщення робочої точки на газодинамічній характеристиці компресора (рис. 1) може здійснюватися або по кривій ОАВС (якщо завданням пристрою регулятора визначається поточним опором нагнітуваної мережі), або по кривій ОАЕFC (якщо завданням є лінія запасу по помпажу).

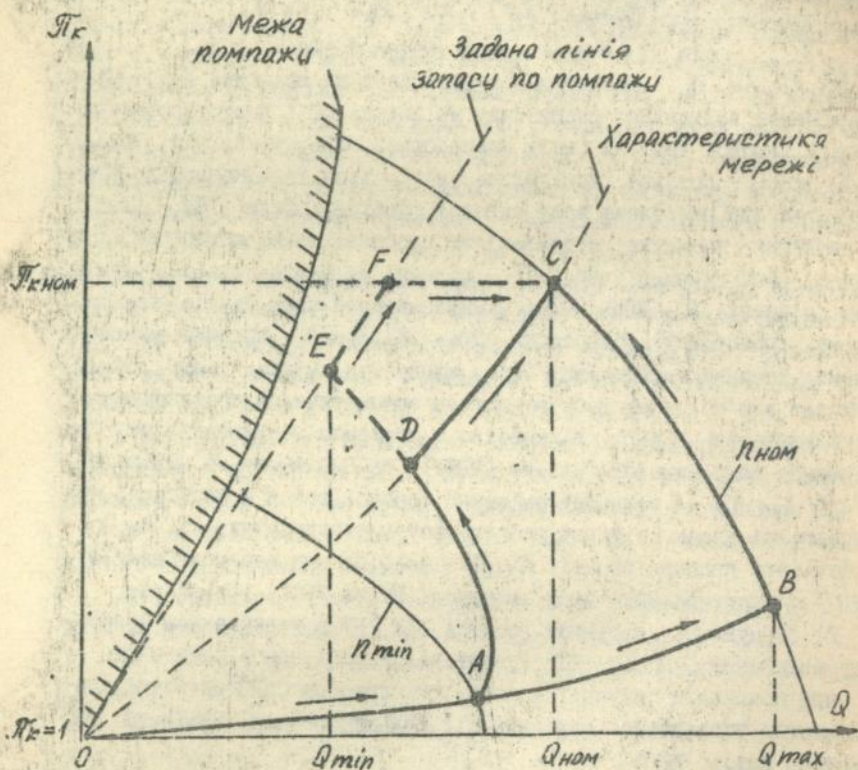


Рис. 1. Графіки переміщення робочої точки компресора під час пуску

При традиційному методі пуску ТКУ робоча точка компресора переміщується на газодинамічній характеристиці по кривій ОАВС. На ділі щі АВ при програмному підвищенні частоти обертання валу відбувається істотне зростання продуктивності компресора при незнач-

ному збільшенні ступеня підвищення тиску. Це один з найбільш не-
економічних режимів роботи компресора, який призводить до пере-
витрат палива під час пуску до 20 %.

Учась САРП у формуванні САР тиску на виході КС впливає по-
завданню агрегатним РЧСТ дозволяє визначити для кожної РЧСТ інди-
відуальне завдання з урахуванням поточного режиму роботи компре-
сора відповідної ТХУ згідно з (1) та (2).

В системі регулювання режиму роботи компресорної станції
(рис. 2) формуються сигнали, які враховують поточний режим роботи
як конкретного компресора, так і КС в цілому. Для підвищення ві-
рогідності врахування величини віддаленості X_{q2} здійснюється в
кожній САРП одночасно по двох групах параметрів, які характери-
зують поточний режим роботи компресора. В основі першого методу
лежить контроль за зниженням навантаження агрегата, в основі дру-
гого - контроль за зниженням частоти обертання валу компресора.
Значення величини віддаленості X_{q1} і X_{q2} вираховуються за форму-
лами:

$$X_{q1} = \frac{P_n}{P_a} - 1 - A_1 \frac{\Delta P}{P_n} ; \quad (3)$$

$$X_{q2} = \frac{P_n}{P_0} - 1 - A_2 \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^2 , \quad (4)$$

де P_a, P_n - тиски газу відповідно в всмоктувочому і нагнітуваному
трубопроводах компресора, МПа; ΔP - перепад тиску газу на вхід-
ному звулужному пристрої компресора, МПа; A_1, A_2 - задані значен-
ня межі помпату компресора.

Підвищити якість процесу управління групою ТХУ, яка працює в
умовах КС з перемінним навантаженням, можливо, якщо САУ ТХУ сін-
тезувати як комбіновану багатозв'язну систему з перемінною струк-
турою, де використовуються імпульси по відхиленню як регульованих
величин, так і зовнішніх збурень. Керувачі впливи в цьому випадку
формується у вигляді функції:

$$U = \psi^x X + \psi^y g(\varepsilon) , \quad (5)$$

де U - керувачий вплив; $X = g(\varepsilon) - \varphi$ - величина розузгодження;
 $g(\varepsilon)$ - вимірюване збурення (вплив по завданню); φ - регульований
параметр; ψ^x, ψ^y - коефіцієнти впливу по сигналам відповідно ве-
личини розузгодження та вимірюваному збуренню.

Для реалізації САУ ТХУ як системи з перемінною структурою
вводиться програмний диспетчер, завданнями якого є:

- 1) формування логічних сигналів, які визначають зону розмі-
щення робочої точки на газодинамічній характеристиці компресора
високого тиску (КВТ) для поточного режиму;

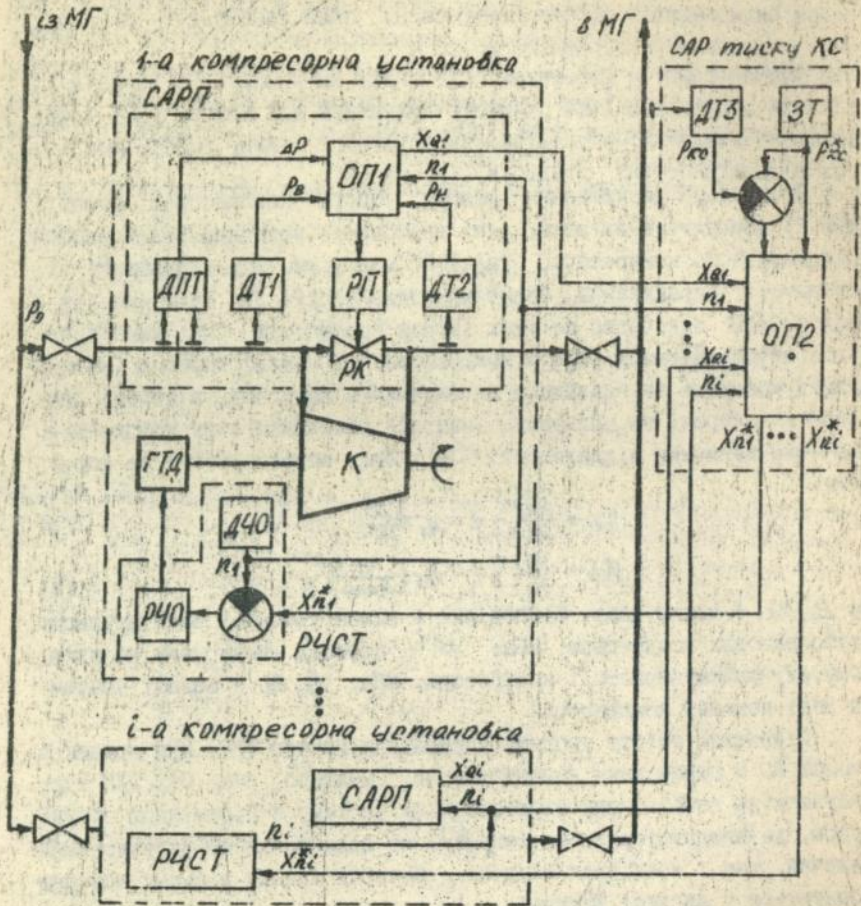


Рис. 2. Блок-схема системи регулювання режиму роботи компресорної станції:

ГТД - газотурбінний двигун; ДТ, ЗТ - датчик та задатчик тиску; ДПТ - датчик перепаду тиску; ДЧО, РЧО - датчик та регулятор частоти обертання; К - компресор; КС - компресорна станція; МГ - магістральний газопровід; ДПН - обчислювальний пристрій; РК - регулюючий клапан; РП - протишумний регулятор; РЧСТ - система регулювання частоти обертання валу силової турбіни; САРП - система автоматичного протишумного регулювання

2) змінювання коефіцієнтів передачі з виразок, по яким визначають значення впливів по заданню (згідно з (1) та (2)) керуючих впливів (згідно з (5)).

Запропонована багатозв'язна САУ групи ТКУ реалізує функції:

1. Агрегатні САП беруть участь на всіх етапах управління ТКУ, включаючи етап пуску. Для цього вводяться зони спільної роботи САП з системами РЧСТ та САР тиску на виході КЗ, а самі САП розпочинають функціонувати одночасно з РЧСТ.

2. В САР тиску на виході КЗ по сигналам САП проводиться автоматична корекція впливів по заданню для РЧСТ.

3. В РЧСТ по сигналам відповідних САП проводиться автоматичне обмеження зниження частоти обертання валу компресора в передбачених ситуаціях.

4. Основне завдання САР параметрів газотурбінного приводу ТКУ - стабілізація частоти обертання валу силової турбіни на значенні, яке задає САР тиску на виході КЗ. Інші параметри проводиться обмеження на рівні встановлених допустимих значень.

5. Обчислення величини віддаленості робочої точки компресора від заданої межі помпалу проводиться в САП двома методами. В обох обчислених значень використовується значення, яке характеризує найбільше зміщення робочої точки до межі помпалу.

6. Системи РЧСТ, САП і САР тиску на виході КЗ здійснюють цифрове регулювання параметрів в реальному масштабі часу з застосуванням широтно-імпульсної модуляції сигналів управління.

Третій розділ присвячений виведенню рівнянь динаміки ТКУ, розробці математичної моделі багатозв'язаної САУ ТКУ та синтезу цифрових регуляторів.

Математична модель ТКУ, яка описує поведінку агрегата в усіх режимах управління, складається із 13 рівнянь, 9 з яких є диференціальні рівняння першого порядку, а 4 - алгебраїчні рівняння.

На основі аналізу даних моделювання перехідних процесів в ТКУ зроблені такі висновки:

1. ТКУ відноситься до швидкодіючих об'єктів управління з великими динамічними відхиленнями по перемінним R , P_{K2} (тиск газу на виході КЗ), Q_{K1} (витрати газу через компресор низького тиску) та Q_{K2} (витрати газу через КЗ), які підлягають першочерговому контролю і регулюванню.

2. Чим менше молекулярна вага газу, що стискується, тим більша вірогідність (при однакових збуреннях) попадання компресора в критичну зону роботи.

3. Для визначення передпоставної ситуації в роботі компресора ТКУ доцільно використовувати параметри КВ, як найбільш чутливі до збурень.

Для визначення параметрів настрійок цифрових ПІ- та ПІД-регуляторів розглядалася така процедура: спочатку синтезується аналітичний регулятор, потім передатома функція цього регулятора апроксимується передаточною функцією цифрового параметричного згладжуваного регулятора. Цей метод аналітичного синтезу цифрових систем управління з найбільш "близкішим" з відомих методів, але як основний метод аналітичного синтезу він доцільний тільки для об'єктів і регуляторів малого порядку.

Для синтезу цифрових регуляторів багатов'язної САУ ТКУ використовувався також метод цифрового моделювання. Для розв'язання системи диференціальних рівнянь, які описують динаміку САУ ТКУ, вистосовано метод Рунге-Кутта-Гемберга із змінним кроком інтегрування. Метод реалізовано в пакеті програм **PC-MATLAB** для персональних комп'ютерів фірми **IBM**.

Як підтверджує практика, для одержання заданої якості перехідного процесу частоти обертання валу силової турбіни ТКУ при різних збуреннях в системі достатньо використати ПІ-регулятор. Розширення області стійкості РЧТ при введенні імпульсу віл доцільної не спостерігається.

Параметри настрійок ПІ-регулятора частоти обертання визначаються на умови мінімізації інтегрального критерію якості S_{min} для ступінчастої зміни заданої перемінної n^* :

$$S_{min} = \int_0^{\infty} |n^* - n| dt.$$

Параметри настрійок ПІД-регулятора також визначаються шляхом мінімізації критерію якості для ступінчастої зміни відповідних заданих перемінних.

У четвертому розділі наведено результати дослідження взаємодії систем регулювання параметрів ТКУ в динаміці, принципи побудови алгоритмів управління ТКУ та результати впровадження одержаних у дисертаційній роботі рішень.

Аналіз перехідних процесів в САУ групой ТКУ при різних варіантах відключення коректуючих зв'язків (рис. 3) показав:

1. Коректуючий зв'язок між САПІ і САВ тиску не виходить КВ є основним. По сигналу зв'язку зменшується вплив збурення, яке найідейше в САВ тиску на виході КВ, шляхом корекції впливу по зв'язку системи.

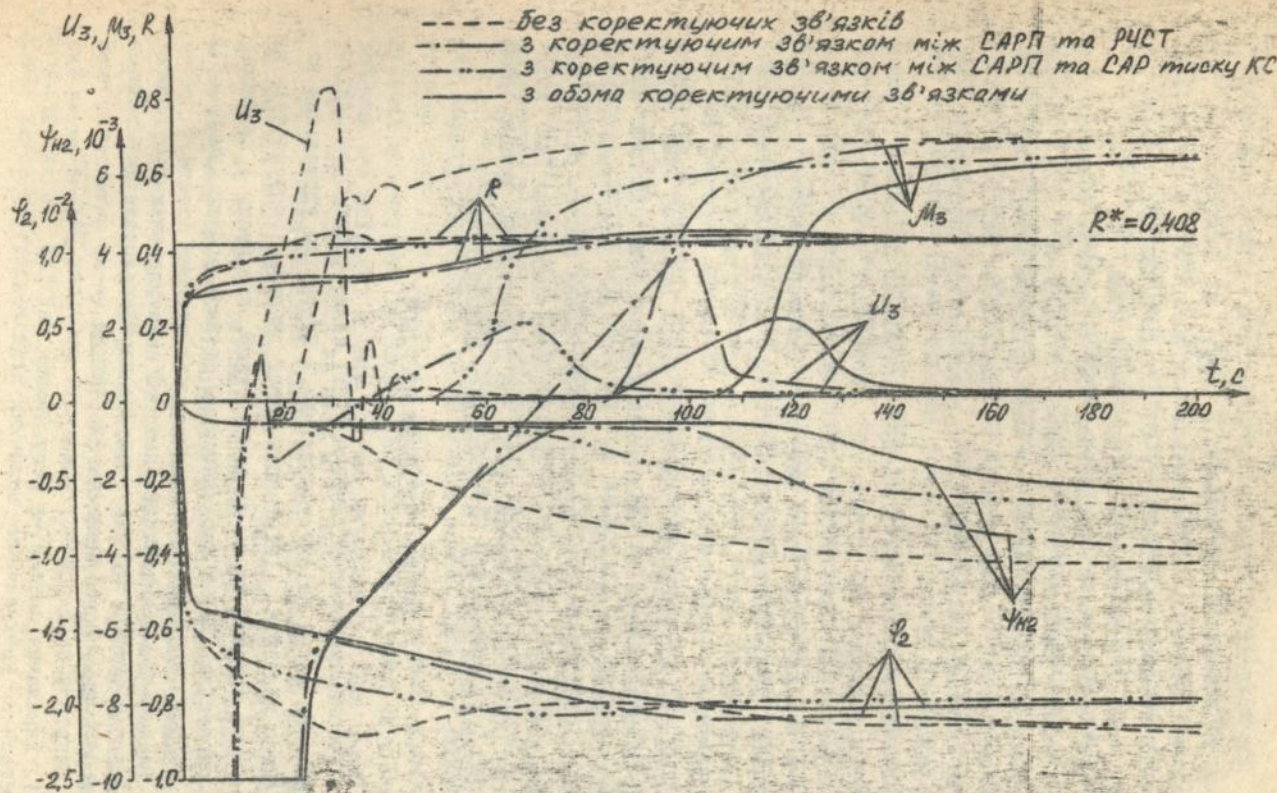


Рис. 3. Перехідні процеси в САУ ТКУ при введенні коректуючих зв'язків між САПР, РЧСТ та САР тиску на виході КС і при збуренні по заданій перемінній $\Psi_{H2}^* = -0,006$

2. При введенні коректуючих зв'язків між агрегатними САРП і САР тиску на виході КС - рециркуляція газу, що стискується, при компенсуванні збурення здійснюється для всіх ТКУ, а при введенні коректуючих зв'язків між САРП і РЧСТ - тільки для ТКУ, режим роботи якої найбільш наблизився до критичної зони.

3. Для ефективного управління ТКУ оптимальна величина зони спільної роботи САРП і РЧСТ різняється $4Q_{кл} = 5,7 \text{ м}^3/\text{хв}$ (коефіцієнт запасу по помпажу 10 %), а зони спільної роботи САРП і САР тиску на виході КС - $4Q_{кр} = 2,8 \text{ м}^3/\text{хв}$ (коефіцієнт запасу - 5 %). При цьому завдання регулятора САРП визначається коефіцієнтом запасу по помпажу 3 %.

Комплекс технічних засобів для практичної реалізації алгоритму функціонування САУ групою ТКУ розроблено на базі мікропроцесорної установки А70Б-1Б-01МГ (НВО "Буревісник", м. Санкт-Петербург), яка має для підвищення живучості багатопроцесорну структуру. Головний вузол регулюючого пристрою - мікропроцесорний контролер, виконаний на базі мікропроцесорного програмованого набору серії КРБ80.

Промислові випробування багатозв'язної цифрової САУ групою ТКУ, які були проведені на газліфтних компресорних станціях КС-16 (ВО "Нижньовартовськнафтогаз") та КС-7/2 (ВО "Сургутнафтогаз"), показали правильність структурного побудовання систем регулювання, працездатність алгоритмів і забезпечення системами САУ заданої якості регулювання параметрів. Це підтверджено актами здачі систем регулювання САУ ТКУ в промислову експлуатацію.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Турбокомпресорна установка (ТКУ) являє собою багатозв'язний і багатозв'язний об'єкт управління. Критерієм управління таким об'єктом прийнята мінімізація втрат корисної потужності на непродуктивні витрати газу, що стискується, при пуску і протипомпажному управлінні ТКУ з забезпеченням стійкої роботи компресорів ТКУ на режимах, близьких до граничних.

2. Визначено математичний опис об'єкта управління і багатозв'язної САУ ТКУ у вигляді системи диференціальних і алгебраїчних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

3. Запропоновані основні концепції побудови САУ ТКУ:

3.1. Виконання систем управління САУ ТКУ своїх функцій здійснюється з урахуванням величини віддаленості робочої точки

компресора високого тиску (КВТ) від заданої межі помпажу. Ця величина обчислюється в агрегатній системі автоматичного протипомпажного регулювання (САП) двома методами. На основі отриманої інформації здійснюється індивідуальна корекція впливу по завданню частоти обертання валу силової турбіни кожної ТКУ.

3.2. Контроль положення робочої точки на газодинамічній характеристиці КВТ дозволяє САП задавати діапазон і характер спільного функціонування систем регулювання САУ ТКУ. Кожна САП здійснює корекцію режиму роботи регуляторів САР частоти обертання валу силової турбіни (РЧСТ) і САР тиску на виході КС таким чином, щоб виключити зміщення робочої точки КВТ з зони нестійкої роботи в процесі регулювання тиску газу на виході КС при збуреннях, які спостерігались на практиці.

3.3. При появі збурення коректуюча дія САП на РЧСТ призводить до зсуву в часі початку роботи протипомпажного регулятора за рахунок здійснення більш повільного (під впливом регулятора РЧСТ) зміщення робочої точки КВТ до помпажної зони. Коректуюча дія САП на САР тиску на виході КС полягає в перешкоді зміщенню робочої точки КВТ в помпажну зону при збурюючих впливах. Це досягається раціональним вибором коефіцієнта взаємозв'язку для заданої зони спільної роботи САП та САР тиску на виході КС, що дає можливість здійснити протипомпажне управління ТКУ без рециркуляції газу. Коректуючі зв'язки між системами призводять до істотного зменшення динамічних відхилень регульованих параметрів при збуреннях.

3.4. Для здійснення раціонального протипомпажного управління ТКУ (шляхом послідовної зміни режиму роботи КВТ) і забезпечення стійких перехідних процесів доцільно зсувати в часі початок реалізації коректуючих зв'язків, що досягається вибором відповідних величин зони спільної роботи систем регулювання. При цьому раніш з'являється коректуючий зв'язок між САП і РЧСТ.

3.5. Функціонування САП під час навантаження ТКУ дозволяє за рахунок поліпшення технології підвищити економічність роботи агрегата на пускових режимах та забезпечити плавне вклучення його в нагнічувачу мережу. Поліпшення технології полягає в підвищенні опору пускового контуру ТКУ пропорційно спорту нагнічуваної мережі, що зменшує непродуктивні втрати газу через компресори, та в одночасному наборі заданих значень частоти обертання валу і ступеню підвищення тиску на КВТ, що скорочує час виводу ТКУ на заданий режим роботи.

4. Запропонована взаємозв'язна система управління групою газоперекачувальних агрегатів, яка дозволяє компенсувати збурення таким чином, що виключає великі динамічні відхилення регульованих параметрів і попадання компресорів ТКУ в зону помпажу, а також забезпечує функціонування агрегатів з максимальним для поточної ситуації коефіцієнтом корисної дії.

5. Виконані дослідження показують, що перевищення певного відношення величини коефіцієнта передачі до величини зони нечутливості регуляторів РЧТ і САРП (вихідні сигнали яких формуються за методом широтно-імпульсної модуляції) спричиняє до появи автоколивань. Для виключення цього явища необхідно обмежити величину коефіцієнтів передачі регуляторів.

6. Оптимальні параметри настройок взаємозв'язних контурів регулювання (САРП, РЧТ, САР тиску на виході РС) визначені з умовою забезпечення мінімуму інтегрального критерію якості для перехідного процесу кожного контуру з допомогою персональної ЕОМ.

7. Результати промислових випробувань САУ ТКУ підтвердили слушність висунутих у дисертації концепцій побудови багатозв'язної цифрової системи управління, яка забезпечує мінімальні втрати корисної потужності на непродуктивні витрати газу, що стискується. Система пройшла випробування і була рекомендована до постійної промислової експлуатації.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. А. с. 808702 СРСР, МКИ³ F04D 27/02. Система протипомпажной защиты компрессорной установки /В. Н. Макаренко, Р. М. Мельниченко, С. П. Сергеев. - Оpubл. 28.02.81. Бюл. № 8.

2. А. с. 1086229 СРСР, МКИ³ F04D 27/02. Система протипомпажной защиты компрессорной установки /В. Н. Макаренко, Р. М. Мельниченко. - Оpubл. 15.04.84. Бюл. № 14.

3. А. с. 1222899 СРСР, МКИ³ F04D 27/02. Система протипомпажной защиты компрессорной установки /В. Н. Макаренко, Р. М. Мельниченко. - Оpubл. 07.04.86. Бюл. № 13.

4. Бахшалиев А. Ш., Макаренко В. Н. К вопросу цифрового моделирования для анализа систем стабилизации основных параметров газотурбинного привода газоперекачивающих агрегатов // Автоматизированные системы управления технологическими процессами добычи, переработки и транспорта газа. - К.: Киевский институт автоматики, 1988. - С. 55-62.

5. Макаренко В. Н. О цифровой системе регулирования турбокомпрессорной установкой // Управление технологическими процессами с применением микропроцессоров. - К.: Киевский институт автоматизи- ки, 1988. - С. 38-43.

6. Вахшалиев А. Ш., Мельниченко Р. М., Макаренко В. Н. Синтез системы цифрового регулирования параметров газоперекачивающих агрегатов // Приборы и системы управления. - 1989. - № 12. - С. 18-19.

7. Макаренко В. Н. К вопросу построения цифровой системы противопомпажного регулирования компрессором // Прикладные вопросы разработки АСУ объектами газовой и нефтехимической промышленности. - К.: Киевский институт автоматизи- ки, 1989. - С. 24-29.

8. Грищенко А. З., Мельниченко Р. М., Макаренко В. Н. Синтез цифровой системы регулирования частоты вращения вала газотурбин- ного привода // Механизация и автоматизация управления. - 1991. - № 2. - С. 8-12.

9. Грищенко А. З., Мельниченко Р. М., Макаренко В. Н. Много- связанная цифровая система управления турбокомпрессорными установ- ками // Создание компрессорных машин и установок, обеспечивающих интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса. Материалы УШ Всесоюзной научн.-техн. конф. по компрессоростроению. Сумы, октябрь 1989г. - Сумы: 1991. - С. 320-326.

10. А. с. 1701989 СССР, МКИ³ F04D 27/00. Способ регулирования компрессорной станции / В. Н. Макаренко, Р. М. Мельниченко. - Спубл. 30.12.91. Бюл. № 48.

11. А. с. СССР по заявке № 4910502/06, МКИ³ F04D 27/02. Сис- тема противопомпажного управления компрессорной установкой / В. Н. Макаренко, Р. М. Мельниченко. - Положительное решение от 27.09.91.

12. А. с. СССР по заявке № 4870107/06, МКИ³ F04D 27/00. Сис- тема автоматического управления компрессорной установкой на пус- ковых режимах / Р. М. Мельниченко, А. З. Грищенко, В. Н. Макаренко, Г. В. Кожакин, С. П. Сергеев. - Положительное решение от 16.04.92.

Институт автоматизации Дар. 80 Зас. 1103 20.4.94

ЛНБ ім. В. Стеф.
АН України

Abstr. (20)

1.62423

AB 29.752