

681.52(043)
Г51

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

ГІРЕНКО Сергій Геннадійович



УДК: 681.52+622.691.4

Г51

**АВТОМАТИЧНЕ АНТИПОМПАЖНЕ РЕГУЛЮВАННЯ
ВІДЦЕНТРОВОГО НАГНІТАЧА ДОТИСКУВАЛЬНОЇ
КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2010



Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Семенцов Георгій Никифорович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Горбійчук Михайло Іванович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж

доктор технічних наук, професор
Тевяшев Андрій Дмитрович
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри прикладної математики

Захист відбудеться «14» 10. 2010 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розіслано «10 Вересня» 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03,
кандидат технічних наук, професор

Дранчук М.М.



an2139

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У газотранспортній системі України однією з ключових проблем автоматизації є створення швидкодіючих автоматичних систем антипомпажного регулювання та захисту відцентрових нагнітачів дотискувальних компресорних станцій (ДКС) підземних сховищ газу (ПСГ). Мережа підземного зберігання газу України складається із 13 ПСГ, загальна облаштована активна місткість яких становить 34,5 млрд.м³, а після дооблаштування ще двох ПСГ досягне 38-39 млрд.м³. Для того, щоб мережа підземного зберігання природного газу забезпечувала високу надійність функціонування єдиної системи газопостачання, необхідно забезпечити стійку роботу компресорів ДКС ПСГ при змінах динамічного опору в колекторі системи збору газу, які відбуваються внаслідок порушення умови циліндричності потоку, і надійний захист компресорів від помпажу. Для вирішення задач захисту компресорів від помпажу сформувався два підходи: класичний (за витратно-напірними характеристиками) і динамічний (за коливаннями у проточній частині компресора). Проте, недостатня швидкодія існуючих автоматичних систем антипомпажного регулювання і захисту компресорів не забезпечують їх надійну роботу на ДКС ПСГ.

Не дивлячись на те, що методи і алгоритми антипомпажного захисту компресорів все більшою мірою стають невід'ємними елементами систем автоматичного керування газоперекачувальними агрегатами (ГПА), до цього моменту не розроблено математичних моделей нестационарних режимів і методів захисту компресорів ДКС ПСГ від помпажу, що враховують взаємозв'язки між помпажем на вході ДКС і виникненням динамічного опору в колекторній системі збору газу.

Принципове вирішення даного завдання може бути здійснене шляхом використання динамічних методів, що базуються на ефекті виявлення коливань у проточній частині компресора, застосування швидкодіючих антипомпажних клапанів, а також малоінерційних ланок системи і оптимального кроку дискретизації. Проте, всі вони мають технологічні, технічні і вартісні обмеження у застосуванні. У зв'язку з цим задача удосконалення математичних моделей і методів автоматичного антипомпажного регулювання і захисту компресорів ДКС ПСГ від помпажу на базі аналізу коливань у проточній частині компресора є актуальною, а її вирішення дасть змогу захистити компресор від помпажу, підвищити надійність роботи ДКС ПСГ та знизити витрати на відновлення відцентрового нагнітача та двигуна.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Напрямок досліджень, виконаних у дисертаційній роботі, є складовою частиною тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Дисертаційна робота виконувалася автором відповідно до основного наукового напрямку діяльності кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології ІФНТУНГ. Тематика роботи є також частиною планової державної «Програми впровадження в експлуатацію САК ГПА та САК КЦ по ДК «Укртрансгаз» в 2007р.» (затв. ДК «Укртрансгаз» 28.12.2006р.) та базується на результатах держбюджетної теми «Автоматизоване управління технологічними процесами буріння, видобування, транспортування, зберігання і переробки нафти і газу» (затв. Науковою радою ІФНТУНГ 04.10.04р., пр. №8). В межах зазначених тем здобувач був

an 2138 - an 2139

безпосередньо виконавцем розділів робіт щодо розробки нового методу автоматичного захисту компресора ДКС ПСГ від помпажу і автоматизованих систем антипомпажного регулювання та захисту компресора ДКС ПСГ.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка методу і системи автоматичного антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу для підвищення експлуатаційної надійності компресорів.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких основних задач:

- аналіз сучасних методів захисту відцентрових нагнітачів від помпажу, аналіз і класифікація способів визначення моментів входу робочої точки нагнітача в зону помпажу, аналіз вимог до методів автоматичного антипомпажного регулювання й захисту;
- дослідження відцентрового нагнітача ДКС як об'єкта антипомпажного регулювання для виявлення вхідних і вихідних величин, формування обмежень на технологічні параметри та вибору комплексу параметрів, які характеризують явище помпажу;
- формалізація постановки задачі антипомпажного регулювання і захисту, розробка методики її розв'язку;
- синтез, обґрунтування й дослідження методу автоматичного захисту відцентрового нагнітача ДКС ПСГ від помпажу і алгоритму функціонування системи автоматичного антипомпажного регулювання;
- удосконалення структури системи автоматичного антипомпажного регулювання і захисту відцентрового нагнітача ДКС;
- експериментальні дослідження в експлуатаційних умовах розроблених методів, автоматичних систем і програмних засобів, аналіз і узагальнення результатів досліджень;
- промислова апробація результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – явище помпажу у відцентрових нагнітачах дотискувальних компресорних станцій.

Предмет дослідження – автоматизовані системи антипомпажного регулювання і захисту відцентрових нагнітачів дотискувальних компресорних станцій підземних сховищ газу.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач у роботі проведені теоретичні дослідження з використанням методів порівняльного аналізу, систематизації та узагальнення (для аналізу показників явища помпажу); системного підходу (для визначення сутності та показників нестационарності); теорії автоматичного керування (для аналізу статичних і динамічних властивостей окремих ланок та системи антипомпажного регулювання і захисту); активного експерименту і фізичного моделювання (для підтвердження вірогідності отриманих теоретичних результатів); схемотехніки (для розробки автоматизованих систем антипомпажного регулювання і захисту компресора від помпажу).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

вперше:

- запропоновано математичну модель траєкторій, яка характеризує явище помпажу у відцентровому нагнітачі, що дало змогу визначити умови динамічної стійкості, обґрунтовано

вибрати комплекс параметрів, які характеризують явище помпажу і використати їх для створення системи автоматичного антипомпажного регулювання і захисту;

- запропоновано метод автоматичного захисту відцентрового нагнітача від помпажу, який ґрунтується на інформації про комплекс параметрів, за допомогою яких визначається поточне значення віддаленості координат робочої точки нагнітача від заданого значення, а також мінімальне значення віддаленості, яке далі використовується як поточне, і по відношенню до нього розраховується сигнал розузгодження під час створення керувальних дій і здійснення автоматичного антипомпажного регулювання. Цим забезпечується надійний захист відцентрового нагнітача від раптового виникнення помпажу, у тому числі жорсткого, при швидкодіючих збуреннях або флуктуаціях газового потоку за умови незмінності межі помпажу. Метод створив передумови для синтезу систем автоматичного антипомпажного регулювання і захисту нагнітачів від помпажу;

- синтезовано логічну функцію захисту відцентрового нагнітача від помпажу у нормальній диз'юнктивній формі, що дало змогу розробити одноконтурну структурну схему безконтактної системи керування антипомпажним клапаном, яка забезпечує надійний захист відцентрового нагнітача від жорсткого помпажу;

дістав подальшого розвитку:

- формальний опис постановки задачі автоматичного антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача ДКС ПСГ, яка, на відміну від відомих, формалізована, виходячи із специфіки задачі автоматизації процесів керування з урахуванням нестационарного характеру явища помпажу, що дало змогу синтезувати структуру системи автоматизованого антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача ДКС;

удосконалено:

- загальну структуру системи автоматичного антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача ДКС, яка, на відміну від існуючих, реалізує запропонований метод виявлення помпажних явищ в нагнітачах відцентрового типу на газоперекачувальних агрегатах з газотурбінним приводом в реальному часі шляхом контролю і аналізу динамічної зміни в групі параметрів, що характеризують роботу нагнітача газотурбінного приводу. Це дало змогу зменшити час визначення моменту настання помпажних явищ в нагнітачах до 0,01с і здійснювати виведення його зі стану помпажу шляхом формування сигналу на антипомпажний регулятор та інші засоби керування газоперекачувальним агрегатом.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені моделі і метод, а також алгоритмічне і програмне забезпечення дають змогу вирішувати задачу автоматичного антипомпажного регулювання і захисту компресора ДКС ПСГ і підтвердили свою ефективність при вирішенні задач захисту компресора від помпажу в умовах ДКС ПСГ «Більче-Волиця» (акт про впровадження від 21.11.2008р.), очікуваний економічний ефект становить 1,2 млн.грн. Результати дисертаційної роботи прийняті до впровадження на КС «Рогатин» Тернопільського ЛВУМГ (акт про впровадження від 24.12.2008р.). Очікуваний економічний ефект становить 1,0 млн.грн.

Окремі розділи дисертаційної роботи використані в навчальному процесі в ІФНТУНГ на кафедрі автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології при підготовці й

читанні курсу «Автоматизація технологічних процесів нафтової і газової промисловості» для студентів спеціальності 7.092501 – автоматизоване управління технологічними процесами (акт про впровадження від 23.10.2008р.).

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати та положення дисертаційної роботи одержані автором особисто. У роботах, написаних із співавторами, здобувачеві належить такі результати: у роботі [5] – запропоновано спосіб визначення оптимальних параметрів налаштування ПІД-регулятора системи антипомпажного регулювання і захисту компресора; [8] – проведено аналіз та порівняльна характеристика існуючих систем SCADA; [12] – запропоновано спосіб захисту компресора від помпажу, який базується на аналізі показників нестационарності; [15] – проведено аналіз показників нестационарності для визначення моменту входу робочої точки нагнітача в зону помпажу; [17] – запропоновано критерій для оцінювання нестационарності руху газу в газотранспортній системі; [20] – проведено аналіз програмно-технічного комплексу контролю та управління територіально розосередженими об'єктами; [21] – розроблено архітектуру інтегрованої системи контролю та керування компресорною станцією. Роботи [1-4; 6,7,11,13,14,16,18,19] виконані здобувачем без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і одержали позитивну оцінку на: XV Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика–2008» (Одеса, 2008); 5-й Міжнародній науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання (Івано-Франківськ, 2008)»; VII Міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування–2008: стан і перспективи» (Київ, 2008); Международной научно-практической конференции «Современное направление теоретических и прикладных исследований–2008» (Одеса, 2008); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании–2007» (Одеса, 2007); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Вимірювання витрати та кількості газу» (Івано-Франківськ, 2007); II Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2007» (Przemysl, 2007); Международной научно-практической конференции «Научные исследования и их применение. Современное состояние и пути развития–2007» (Одеса, 2007); IV Mezinárodní vědecko-praktická konference «Vědecko potencíal sveta» (Praha, 2007); Міжнародній науково-практичній конференції «Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів» (Хмельницький, 2003); 7-ї Міжнародній науково-практичній конференції «Нафта і газ України–2002» (Київ, 2002).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 21 публікаціях (серед яких – 8 статей, написаних без співавторів) у тому числі – 8 – у виданнях, що входять до переліків ВАК України, двох патентах та 11 публікаціях у збірниках праць Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференцій, 2 – у зарубіжних виданнях.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 8 додатків. Повний обсяг дисертації становить 187

сторінок; обсяг основного тексту 150 сторінок, 45 рисунків; 8 таблиць; список використаних джерел, що включає 147 найменувань та займає 17 сторінок; 8 додатків на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету і завдання дослідження, вказано об'єкт, предмет і методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані щодо апробації результатів роботи, кількості праць за темою дисертації та особистого внеску здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан досліджуваної проблеми, проведено критичний аналіз методів та автоматичних систем антипомпажного регулювання і захисту компресорів від помпажу. Наведено переваги та недоліки кожного з методів та сфери їх застосування. Дослідження із захисту компресорів від помпажу і антипомпажного регулювання проводили багато вітчизняних і зарубіжних вчених - Ю.Д.Акульшин, О.В.Александров, Р.О.Баллок, В.Г.Веселовський, О.В.Городецький, В.М.Гуренко, Ю.Б.Гальоркін, В.Ф.Жаров, Ю.І.Журавльов, Р.І.Ізмайлов, В.В.Казакевич, Р.Г.Караджі, Т.Е.Крутіков, К.П.Селезньов, Т.Downer, I.R.Baher, E.O.King, I.F.Kuhlberg, H.Pearson, D.E.Sheppard та ін. Однак, залишається відкритим питання розробки таких методів і систем автоматичного антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів дотискувальних компресорних станцій, які б забезпечували потрібну швидкодію, надійний захист компресора ДКС ПСГ від помпажу і безаварійну експлуатацію ГПА, а отже і ПСГ в цілому, складовими якого є підземні і наземні споруди, пов'язані одним технологічним процесом.

Аналіз існуючих методів та автоматичних систем довів, що на даний час використовується кілька методів захисту від помпажу – за витратно-напірними характеристиками відцентрових нагнітачів і за коливаннями потоку газу у проточній частині компресора. Проте вони не забезпечують потрібну швидкодію і надійний захист від помпажу. Використання динамічних методів захисту компресорів від помпажу за комплексом показників роботи ГПА, отриманих в реальному часі, у поєднанні з швидкодіючими антипомпажними клапанами і сучасною цифровою технікою дає змогу вирішити дану проблему. Доведено необхідність удосконалення існуючих методів автоматичного захисту компресорів від помпажу та розроблення нових підходів і систем автоматичного антипомпажного регулювання. Запропоновано використати ідентифікацію передпомпажного стану в компресорі ДКС ПСГ шляхом виявлення початку коливань у проточній частині через динаміку зміни комплексу показників роботи ГПА. На основі проведеного аналізу вибрано і обґрунтовано напрямок досліджень, сформульовано мету й задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі вперше запропоновано ефективну систему автоматичного антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача (ВН) дотискувальної компресорної станції, в якій використання поточної інформації про явище помпажу і фактори, що викликані ним, здійснюються шляхом визначення координати робочої точки ВН в системі координат «політропний напір – об'ємна витрата», або «ступінь підвищення тиску газу – масова витрата». Для цього на основі апріорних даних задається певне значення межі помпажу.

Оскільки процес перекачування природного газу залежить від великої кількості взаємно зв'язаних вхідних величин – керувальних дій та зовнішніх впливів, то структуру моделі «вхід–вихід» ВН як об'єкта автоматизованого та антипомпажного регулювання розглядали у відповідності з поставленими задачами автоматизації (рис.1).

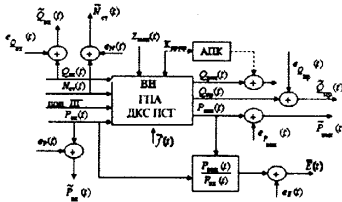


Рис.1. Структурна схема ГПА як об'єкта автоматичного антипомпажного регулювання:

N_{ct} – частота обертання силової турбіни; пол.ДГ – положення дозатора газу; $P_{вх}$ – тиск газу на вході у нагнітач; $P_{вих}$ – тиск газу на виході з нагнітача; $Q_{пр}$ – продуктивність нагнітача; $Q_{вх}$ – об'єм газу з входу (ПСГ або ГПА I ступеня); $Z_{зад}$ – задана оператором частота обертання ротора нагнітача; E – ступінь підвищення тиску газу, $E = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}$; АПК – антипомпажний клапан; $K_{помп}$ – коефіцієнт помпажу; $Q_{рек}$ – витрата рециркуляції; f – вектор, який характеризує взаємодію об'єкта з навколишнім середовищем (вектор збурення).

дозатора газу пол.ДГ, тиск газу на вході в нагнітач $P_{вх}(t)$ та об'єм газу на вході $Q_{вх}(t)$. До другої групи віднесені некеровані зовнішні впливи $z_{зад}(t)$ – задана оператором частота обертання ротора нагнітача; коефіцієнт помпажу $K_{помп}$. Вони характеризують умови роботи ВН ГПА. До третьої групи віднесені показники роботи ГПА $\bar{x}(t)$, які вважатимемо компонентами вектора вихідних змінних:

$$\bar{x}^T(t) = (Q_{пр}(t), P_{вих}(t), E(t), Q_{рек}(t)). \quad (1)$$

Кожна із вихідних величин є функцією керувальних дій $u(t)$ та зовнішніх впливів $z(t)$, $f(t)$:

$$\bar{x}_j(t) = \varphi_j(\bar{u}(t), \bar{z}(t), \bar{f}(t)), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

де n – кількість вихідних величин.

Показано, що внаслідок дії на ВН ГПА таких збурень як хімічний склад реального транспортного газу, технічний стан ВН, температура навколишнього середовища t_c , атмосферний тиск $P_{атм}$ та інших, вхідні і вихідні величини ВН ГПА вимірюються з певними похибками, які можна трактувати як адитивні шуми $\bar{e}(t)$.

Отже, процес компримування газу описується сукупністю випадкових процесів $N_{ct}(t)$, $P_{вх}(t)$, $Q_{вх}(t)$, $Q_{пр}(t)$, $P_{вих}(t)$, $E(t)$ та ін., які стохастично зв'язані між собою.

В роботі наведено аналіз статичної стійкості ВН на базі аналізу сумісних характеристик: графіків залежностей надлишкового тиску P_n в напірному трубопроводі безпосередньо за нагнітачем від об'ємної продуктивності Q_n в тому самому ж перерізі $P_n = f(Q_n)$ і залежності надлишкового тиску P_m перед мережею від об'ємної продуктивності $Q_R - P_m = \varphi(Q_R)$. Це дозволило виявити статично стійкі рівноважні режими роботи ВН і режими, коли спостерігається статична нестійкість режиму роботи системи.

Як вихідну математичну модель неусталеного режиму руху газу у ВН, яку можна використати для вирішення задач автоматизації процесів керування, використали систему рівнянь у такому вигляді:

$$\begin{aligned} P_{1a} &= P_0 - \frac{l_1 \rho_0}{s_1} \cdot \frac{dQ_0}{dt}, \quad P_{на} = P_0 \cdot f(Q_0) - \frac{l_1 \rho_0}{s_1} f(Q_0) \frac{dQ_0}{dt}, \\ P_{ма} &= P_0 \cdot f(Q_0) - \frac{\rho_0 \cdot l_1}{s_1} f(Q_0) \frac{dQ_0}{dt} - \frac{0,5 \rho_1 \cdot l_2}{s_2} \frac{dQ_{на}}{dt}, \quad \rho_0 Q_0 = \rho_1 Q_{на}, \end{aligned} \quad (3)$$

де P_{1a} – абсолютний повний тиск перед ВН; P_0 – тиск на вході, s_1, l_1 – площа перерізу і довжина вхідного трубопроводу; ρ_0 – густина газу у вхідному трубопроводі ВН; Q_0 – об’ємна продуктивність на вході ВН; $P_{на}$ – абсолютний тиск газу за ВН; $P_{ма}$ – абсолютний тиск газу перед мережею; s_2, l_2 – площа перерізу і довжина вихідного трубопроводу; ρ_1 – густина газу у вихідному трубопроводі ВН; $Q_{на}$ – об’ємна продуктивність за ВН.

Розрахунки проведено з урахуванням допущень: відносна характеристика ВН задана залежністю $P_{на}/P_{1a}=f(Q_0)$; витрати на тертя у вихідному трубопроводі відсутні; характеристика мережі має такий вигляд $P_{ма} = P_{на} - P_0 = \varphi(Q_{на})$, де $P_{ма}$ – надлишковий тиск газу перед входом в мережу; складна розподілена система, яка створена ВН з приєднаними до нього трубопроводами і мережею, може бути замінена системою з одним ступенем вільності, яким є тиск газу; потік газу рухається вздовж досліджуваної системи з прискоренням, тобто $P_{1a} \neq P_0$; процес компримування газу у ВН є адиабатичним, але під час помпажу – коливальним і зв’язок швидкості звуку в газі на вході C_0 зі швидкістю звуку на виході C_1 за ВН є наступним:

$$c_1^2 = c_0^2 \left(\frac{P_0}{P_{на}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}, \quad (4)$$

де γ – показник адиабати.

У кінцевому результаті для ВН математична модель представлена у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dQ_0}{dt} = \frac{P_0 f(Q_0) - P_{на}}{\rho_0 \left(\frac{l_1}{s_1} f(Q_0) + \frac{0,5 \cdot l_2}{s_2} \right)}, \quad \frac{dP_{ма}}{dt} = (Q_0 - Q_{на}) \frac{\rho_0 c_0^2}{0,5 \cdot l_2 s_2} \cdot \left(\frac{P_{1a}}{P_{на}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}, \quad (5)$$

де Q_{R0} – продуктивність ВН, яка дорівнює $Q_{R0} = Q_R \rho_1 / \rho_0$; Q_R – продуктивність ВН через мережу, віднесена до параметрів на вході.

Виключивши із системи рівнянь (5) час, отримали рівняння фазових траєкторій у вигляді нелінійного диференціального рівняння першого порядку:

$$\frac{dP_{ма}}{dQ_0} = \frac{(Q_0 - Q_{R0}) \rho_0^2 c_0^2 \left(\frac{P_{1a}}{P_{на}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \left(\frac{l_1}{s_1} f(Q_0) + \frac{0,5 l_2}{s_2} \right)}{0,5 l_2 s_2 (P_0 \cdot f(Q_0) - P_{ма})}. \quad (6)$$

Рівняння (6) дало змогу визначити інформативні параметри, які характеризують явище помпажу у ВН, але їх замало і тому додатково скористалися методом експертних оцінок.

Метою експертизи було виявлення та ранжування найбільш вагомих інформативних параметрів, які характеризують помпаж у ВН. На базі математичної моделі (6) і досвіду експертів сформульовано множину параметрів, які характеризують помпаж у ВН: $dP_{\text{конф}}$ – перепад тиску газу на конфузори нагнітача; $N_{\text{ст}}$ – частота обертання силової турбіни газотурбінного приводу і відповідно нагнітача; G_{ZON}^g – вібропереміщення горизонтальне задньої опори нагнітача; G_{vZON}^g – вібропереміщення вертикальне задньої опори нагнітача; G_{gPON}^g – вібропереміщення горизонтальне передньої опори нагнітача; G_{vPON}^g – вібропереміщення вертикальне передньої опори нагнітача; G_{szsvvN} – осьовий зсув нагнітача.

Результати опитування експертів у вигляді розрахованих рангів для кожного параметру, які характеризують явище помпажу в нагнітачі, дозволили вибрати сім параметрів:

$$\langle dP_{\text{конф}}, N_{\text{ст}}, G_{\text{ZON}}^g, G_{\text{vZON}}^g, G_{\text{vPON}}^g, G_{\text{gPON}}^g, G_{\text{szsvvN}} \rangle. \quad (7)$$

Перевірку випадковості значень розрахованого коефіцієнта узгодженості W проведено на основі Z -розподілу Фішера. Для цього розраховане значення Z -критерію Фішера

$$Z = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{(m-1)W}{W} \right), \quad (8)$$

де Z – розраховане значення Z -критерію Фішера; m – кількість експертів в групі, порівняли з критичним табличним значенням $Z_{\text{табл}}$ для рівня значущості $\alpha=0,05$ і розрахованого числа ступенів вільності для отриманих результатів експертизи. Оскільки розраховане значення Z -критерію Фішера було більше табличного, тобто $Z > Z_{\text{табл}}$, (0,713 > 0,51), то думка експертів відносно ранжування показників помпажу не є випадковою з коефіцієнтом узгодженості $W=0,727$, який визначено за формулою:

$$W = \frac{12 \cdot \delta}{m^2 (n^3 - n)} = 0,727, \text{ де } m - \text{кількість експертів; } n - \text{кількість оцінюваних факторів;}$$

δ – сума квадратів відхилень між сумою рангів по кожній факторній ознаці та середньою сумою рангів.

Запропонований підхід дозволив врахувати поточну інформацію про явище помпажу шляхом неперервного контролю параметрів тезаурусу (7). Запропоновано визначити координати робочої точки ВН в системі координат «політропний напір – об'ємна витрата» або «ступінь підвищення тиску газу – масова витрата». Для цього на основі експериментальних даних та досвіду експертів запропоновано задавати межу помпажу.

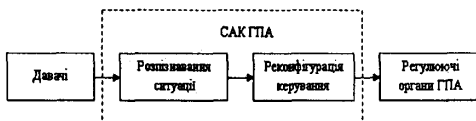


Рис.2. Структура системи автоматичного захисту ВН ГПА від помпажу методами керування.

Безперервно зі швидкодією, яка перевищує швидкодію органів керування і мінімально можливий час виникнення жорсткого помпажу, запропоновано визначити поточне значення віддаленості координат робочої точки ВН від заданої величини.

Визначене таким чином мінімальне значення віддаленості координат робочої точки ВН запропоновано використовувати як поточне значення віддаленості сигналу розузгодження при керуванні регулюючими органами ГПА (рис.2) під час здійсненні антипомпажного регулювання. Цим забезпечується надійний захист ВН від раптового виникнення помпажу, в тому числі жорсткого, при швидкодіючих збуреннях або флуктуаціях газового потоку за умови незмінності межі помпажу, тобто заданої величини.

Для підвищення оперативності захисту ВН від жорсткого помпажу у дисертаційній роботі синтезовано, методом карт Карно, структуру однотактної релейної схеми автоматичного безконтактного пристрою, яка реалізує запропоновану логічну функцію в нормальній диз'юнктивній формі для 7 вхідних логічних змінних. Спрацювання антипомпажного клапана здійснюється лише у тому випадку, коли логічна одиниця з'являється більше ніж на одному із 7 входів логічного пристрою одночасно. Отримано також загальну структурну формулу пристрою з урахуванням виконавчого органу B у вигляді $\psi = \lambda B$, де λ – структурна формула схеми без виконавчого органу, ψ – структурна формула всієї системи.

Синтезовано структурну схему пристрою, що задовільняє умовам, які сформуовано у вигляді правил ЯКЦО...ТО...:

$$P: \text{ЯКЦО } (\neg a \wedge \neg b \wedge c \wedge \neg d \wedge \neg e \wedge \neg f \wedge g) \vee (\neg a \wedge b \wedge c \wedge \neg d \wedge \neg e \wedge \neg f \wedge \neg g) \vee \\ \vee (\neg a \wedge b \wedge \neg c \wedge \neg d \wedge \neg e \wedge \neg f \wedge g) \vee \dots \vee (a \wedge \neg b \wedge \neg c \wedge d \wedge \neg e \wedge \neg f \wedge g) \text{ ТО } (9) \\ \text{"антипомпажний клапан спрацює"},$$

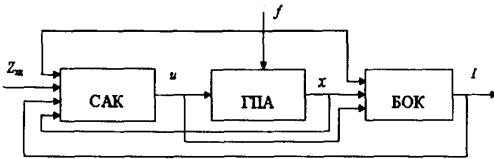


Рис. 3. Узагальнена функціональна структура системи антипомпажного регулювання та захисту ВН ГПА; БОК – блок обчислення критерію I

антипомпажного регулювання ВН ДКС ПСГ, виходячи з максимальної швидкодії і обмежень, які мають місце при роботі ГПА (рис.3).

В кожному контурі системи вирішується певна задача оптимізації. Оскільки, вибір критерію оптимальності для такого складного об'єкта як ВН ГПА ДКС ПСГ є складною науково-практичною задачею, яка не має строгого однозначного рішення, тому, задача вибору критерію оптимальності розв'язана у роботі на базі глибокого і всебічного вивчення властивостей керованого об'єкта та досвіду експлуатації.

Оскільки критерій оптимальності I виражається через компоненти векторів виходу $\bar{x}(t)$, управління $\bar{u}(t)$ і завдання $\bar{z}_{\text{эл}}(t)$:

$$I = I \left[\bar{x}(t), \bar{z}_{\text{эл}}(t), \bar{u}(t) \right], \quad (10)$$

$$\text{де } a - dP_{\text{конф}}, b - N_{\text{ст}}, c - G_{gPON}, \\ d - G_{vPON}, e - G_{gZON}, f - \\ G_{vZON}, g - G_{szivN}.$$

У роботі поставлено і вирішено задачу синтезу узагальненої функціональної структури системи автоматичного

де $\bar{z}_{зд}(t)$ – вектор-функція часу, яка визначає бажану зміну виходу $\bar{x}(t)$, то враховуючи, що зовнішні впливи $\bar{z}_{зд}(t)$ або $\bar{f}_{зд}(t)$ неперервно змінюються, ефективність функціонування ВН ГПА і системи керування ним запропоновано оцінювати функціоналом:

$$I = I(\bar{u}(t)) = \int_0^{t_k} \varphi_0 \left[\bar{x}(\tau), \bar{z}_{зд}(\tau), \bar{u}(\tau) \right] d\tau, \quad (11)$$

де φ_0 – деяка скалярна невід’ємна функція, вигляд якої залежить від мети керування, t_k – інтервал керування.

Зважаючи на те, що метою захисту ВН ГПА від помпажу є досягнення мінімальної тривалості перехідного процесу, умову оптимального функціонування об’єкта і системи керування запропоновано оцінювати у такому вигляді:

$$I_3 = \int_0^{t_k} I(u(t)) dt = \min. \quad (12)$$

При постановці і вирішенні такої задачі керування враховані обмеження на зміні $\bar{x}(t)$, $\bar{z}_{зд}(t)$ та $\bar{u}(t)$, які задані у вигляді умов належності векторів $\bar{x}(t)$, $\bar{z}_{зд}(t)$ та $\bar{u}(t)$ до деяких замкнених множин:

$$\bar{x}(t) \in X; \quad \bar{z}_{зд}(t) \in Z_{зд}; \quad \bar{u}(t) \in U,$$

де $X, Z_{зд}, U$ – замкнені множини, задані відповідно в n -, l -, m -мірних просторах.

Обмеження на компоненти векторів $\bar{x}(t)$, $\bar{z}_{зд}(t)$ і $\bar{u}(t)$ покладені незалежно один від одного – у вигляді обмежень окремих компонентів:

$$0 \leq x_i \leq x_{i \max}, \quad 0 \leq z_{зд}^{(k)} \leq z_{зд \max}^{(k)}, \quad 0 \leq u_i \leq u_{i \max}, \quad (13)$$

де $x_{i \max}$, $z_{зд \max}^{(k)}$, $u_{i \max}$ – максимально можливі або допустимі значення компонентів.

Шуканий мінімальний час t_k є функціоналом (12), який залежить від вибраних керувальних дій $u(t)$; $0 \leq t \leq t_k$.

Показано, що замкнута система антипомпажного регулювання, яка знаходиться під впливом зовнішніх сигналів s (завади f , задаючий сигнал $z_{зд}$, варіації температури навколишнього середовища і атмосферного тиску, сигнали від інших ГПА та ін.) підтримує задане значення керованої величини x , що апріорі задається так, що

$$0 \leq x_i(t, s) \leq x_i^{(i)} \text{ доп.}, \quad \forall t \in T_p, \quad (14)$$

де t – поточний час; $x_i^{(i)} \text{ доп.}$ – граничне значення керованої величини, що апріорі задане; T_p – час роботи ВН ГПА.

У роботі використано інтерактивну процедуру синтезу системи антипомпажного регулювання, яка забезпечує потрібну точність і зручність її реалізації в умовах експлуатації САК ГПА ДКС ПСГ. Запропоновано загальну структуру системи (рис.4), яка реалізує розроблений метод і програмне забезпечення системи антипомпажного регулювання та захисту ВН у варіанті конкретного прикладу. Вона містить групу давачів газотурбінного приводу та нагнітача відцентрового типу. Перевищення певних встановлених в алгоритмі

порівняння меж порогових значень класифікується алгоритмом, як ознака наявності помпажних коливань по параметру і фіксується підняттям сигнальної мітки з ознакою ступеню перевищення. Умовно мітки класифікуються на три рівні і виводяться алгоритмом «Формування ознаки якості помпажу по параметру»: ПП – передпомпажний стан; МП – стан м'якого помпажу; ЖП – жорсткий помпаж.

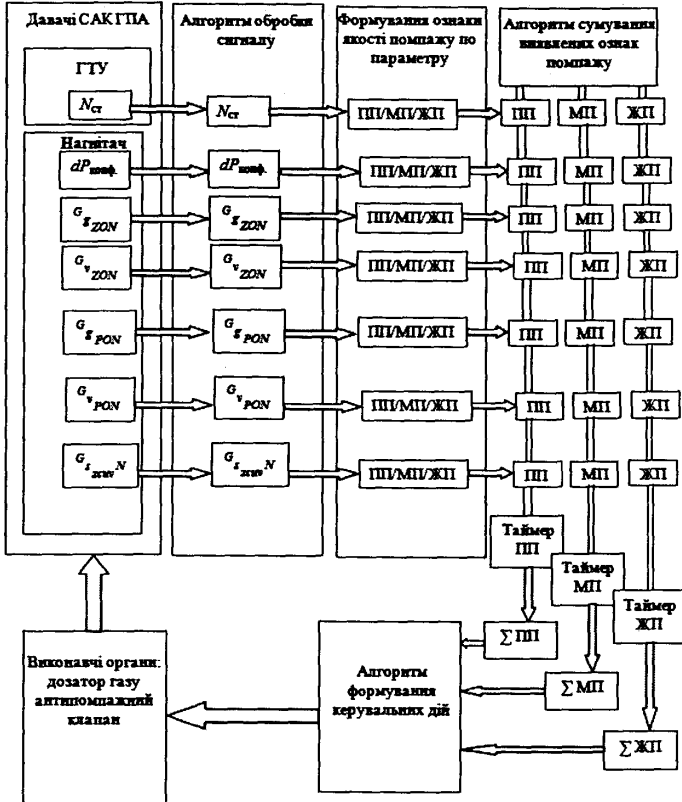


Рис. 4. Структурна схема системи автоматичного антипомпажного регулювання та захисту ВН ГПА ДКС ПСГ

У третьому розділі поставлена і вирішена задача теоретичних і експериментальних досліджень розробленої, виготовленої і впровадженої системи автоматичного антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача ДКС. Об'єктом досліджень обрали відцентровий нагнітач ГПА Ц-16 №9 ДКС «Більче-Волиця» Стрийського ВУПЗГ УМГ «Львівтрансгаз», який внаслідок високого рівня забезпеченості засобами контролю і керування дозволив дослідити запропоновану систему антипомпажного регулювання та захисту, а також явище помпажу в ВН в реальних умовах експлуатації підземного сховища газу, які супроводжуються появою додаткового динамічного опору в колекторній системі збору газу. В роботі застосовано методику досліджень, яка базується на використанні

пасивного і активного планів експериментів з наступною обробкою експериментальних даних із застосуванням методів математичної статистики. Для збору і обробки інформації використано комплекс програмно-технічних засобів оперативного контролю та подачі даних про стан технологічного обладнання і виробничих показників компресорної станції «Більче-Волиця», що дозволило здійснити автоматичний контроль технологічних параметрів ВН ГПА, дослідити ефективність системи автоматичного антипомпажного регулювання за розробленою методикою.

Функцію передачі ВН як керованого об'єкта визначили методом кривої розбігу. Для цього перейшли до безрозмірних одиниць, побудували перехідну характеристику в безрозмірних величинах і зробили апроксимацію диференціальним рівнянням другого порядку:

$$\left(T_{01}^2 p^2 + T_{02} p + 1\right) y(p) = x(p), \quad (15)$$

де $T_{01}^2 = 4,782 \text{ с}^2$; $T_{02} = 4,38 \text{ с}$; $y(p)$, $x(p)$ – зображення за Лапласом вихідної і вхідної величин відповідно. Максимальна похибка апроксимації становить 2,3%. Коefіцієнт затування $\xi = \frac{T_{02}}{2T_{01}} = 1,004 > 1$. Розрахунки виконали в програмному пакеті Mathcad.

Здійснено структурно-параметричну оптимізацію підсистеми дискретного автоматичного антипомпажного регулювання ВН ГПА ДКС ПСГ (рис.5).

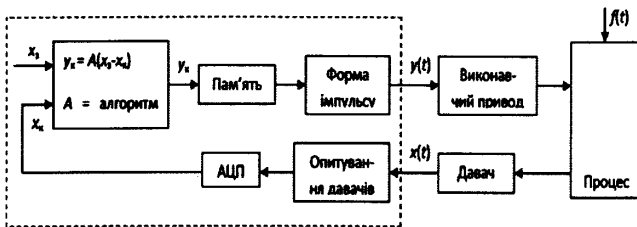


Рис.5. Підсистема дискретного автоматичного антипомпажного регулювання ВН ГПА ДКС ПСГ: $f(t)$ – збурюючий вплив; x_s – задане значення керованої величини; x_c – контрольоване значення керованої величини; $u(t)$ – керувальний вплив.

Враховуючи, що ВН ГПА ДКС практично є об'єктом другого порядку без запізнення, конфузор – безінерційною ланкою, а виконавчий механізм аперіодичною ланкою першого порядку, запропоновано використати ПІД-регулятор.

Для визначення параметрів налаштування ПІД-регулятора скористались методом Ціглера-Нікольса в математичному редакторі Mathcad і такими співвідношеннями для даної системи: $S_1^{\text{опт.}} = 0,6S_1^{\text{кп}}$, $S_2^{\text{опт.}} = 0,192 S_1^{\text{кп}} \omega_{\text{кр}}$, $S_0^{\text{опт.}} = 0,471 S_1^{\text{кп}} \omega_{\text{кр}}$, де $S_1^{\text{кп}}$ – критичний параметр налаштування пропорційної частини регулятора (при $S_0 = S_2 = 0$), при якому система буде знаходитись на межі стійкості; $\omega_{\text{кр}}$ – критична частота, яка відповідає параметру $S_1^{\text{кп}}$.

В результаті отримали такі значення параметрів налаштування ПІД-регулятора: $S_1^{\text{опт.}} = 4,383 \% \text{ ходу рег.орг. / кгс/см}^2$, $S_2^{\text{опт.}} = 0,927 \text{ с}$, $S_0^{\text{опт.}} = 5,205 \text{ с}$.

Розроблена система антипомпажного регулювання впроваджена на ДКС ПСГ «Більче-Волиця». Показано, що при дискретному антипомпажному регулюванні система фіксує виникнення помпажу і форсовано відкриває антипомпажний клапан. Після стабілізації і зникнення помпажних коливань АПК автоматично закривається. При повторному виникненні помпажу система повторно здійснює форсоване відкриття антипомпажного клапана (рис.6).

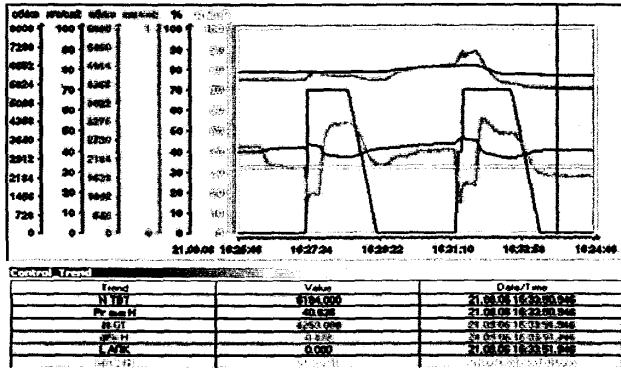


Рис. 6. Приклад дискретного автоматичного антипомпажного регулювання.

Четвертий розділ присвячено питанням створення та апробації промислового зразка запропонованої в роботі підсистеми антипомпажного регулювання (АПР) та методу захисту ГПА №9 ДКС «Більче-Волиця» від помпажу. Підсистема побудована на базі контролерів фірми «Сіменс». Керуванням виконавчим пристроєм системи є перепускний антипомпажний клапан (АПК) фірми «Моквелд», який при виникненні помпажних явищ забезпечує розвантаження ГПА методом рециркуляції газу «з виходу на вхід» нагнітача.

Досвід експлуатації протягом 3-ох років підтвердив, що вона виконує головне функціональне призначення підсистеми АПР: виявлення та усунення помпажних явищ, а також забезпечення автоматичного завантаження агрегату в «Магістраль», при знятті помпажних явищ. При неможливості виводу агрегату з режиму помпажу за умови нормальної роботи підсистем АПР та АПК забезпечується аварійна зупинка ГПА по команді «А3».

На підставі аналізу поточного стану агрегату і комплексу параметрів, підсистемою виноситься висновок про наявність помпажних явищ в нагнітачі та їх класифікація. Також аналізується швидкість розвитку самого процесу: так звана «швидкість входження в помпак». Далі підсистемою проводиться розрахунок процентного ступеню відкриття АПК, (час реакції не більше 10 мс) і віддається команда на його керування, з занесенням відповідних повідомлень в журнал подій. Контроль за керуванням АПК ведеться підсистемою безперервно, а також ведеться моніторинг розвитку помпажних явищ, на підставі яких керувальна дія може бути скоригована підсистемою АПР. При знятті помпажних явищ повністю та проходженні часу стабілізації, що складає близько 30-ти секунд, підсистема АПР видає команду на плавне (2% в секунду) закриття АПК «Моквелд», чим забезпечується плавне завантаження ГПА в «Магістраль».

Результатами випробувань доведено працездатність підсистеми АПР в складі САК ГПА Ц-16 ст. №9. В ході подальшої експлуатації підтверджено відповідність підсистеми антипомпажного регулювання всім вимогам і завданням, сформульованим у дисертації. Підсистема шляхом відпрацювання антипомпажного клапана адекватно реагує на створювані штучно, в ході випробувань, помпажні явища, а також на помпажні явища, що виникали на ДКС “Більче-Волиця” в ході її експлуатації протягом 2006-2008 років. Доведено, що в процесі реальної експлуатації наявність системи АПР на агрегаті, забезпечує збереження його в режимі і дає змогу без будь-яких часових та виробничих втрат повернути ГПА в нормальну роботу.

У висновках стисло сформульовані наукові і практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках наведені акти про впровадження теоретичних і практичних результатів дисертаційних досліджень; модулі програмного продукту системи антипомпажного регулювання і захисту компресора, а також матеріали, що містять допоміжні результати.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведені теоретичне узагальнення і нове вирішення важливої науково-практичної задачі в галузі автоматизації процесів керування – удосконалено метод і систему автоматичного антипомпажного регулювання і захисту відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу, розроблено промисловий вірєць системи та здійснено його випробовування і одержано такі основні результати:

1. Проведено аналіз сучасних методів захисту відцентрових нагнітачів від помпажу, який показав, що на даний час найбільш поширеними є методи з використанням витратно-напірних характеристик і коливань у проточній частині нагнітача, недоліками яких є необхідність систематичного введення робочої точки нагнітача в зону помпажу, велика похибка розрахунків помпажних характеристик, звуження допустимої зони стійкості роботи нагнітача, низька швидкодія і завадостійкість, що обмежує сферу застосування та зменшує продуктивність таких методів. Обгрунтовано необхідність удосконалення існуючих методів антипомпажного регулювання і захисту відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату дотискувальної компресорної станції від помпажу.

2. На основі дослідження відцентрового нагнітача ДКС як об'єкта антипомпажного регулювання запропоновано рівняння фазових траєкторій, яке характеризує явище помпажу у відцентровому нагнітачі, що дало змогу визначити умови динамічної стійкості відцентрового нагнітача, обгрунтовано вибрати комплекс параметрів, які характеризують явище помпажу і використати їх для створення системи автоматичного антипомпажного регулювання і захисту.

3. Дістав подальший розвиток формальний опис усіх компонентів постановки задачі автоматизованого антипомпажного регулювання та захисту компресора ГПА ДКС ПСГ, які формалізовані, виходячи із специфіки задачі автоматизації процесів керування на базі створеної математичної моделі з урахуванням нестационарного характеру явища помпажу, що дало змогу синтезувати систему автоматизованого антипомпажного регулювання та захисту відцентрового нагнітача.

4. Синтезовано, обгрунтовано і досліджено новий метод автоматичного захисту відцентрового нагнітача від помпажу в робочому режимі компресора, який ґрунтується на інформації про комплекс параметрів за допомогою яких визначається поточне значення віддаленості координат робочої точки нагнітача від заданої величини, а також мінімальне значення віддаленості, яке далі використовується як поточне і по відношенню до нього розраховується сигнал розузгодження при керуванні органами керування і при здійсненні автиспомпажного регулювання. Цим забезпечуються надійний захист відцентрового нагнітача від раптового виникнення помпажу, в тому числі жорсткого, при швидкодіючих збуреннях або флуктуаціях газового потоку за умови незмінності заданої межі помпажу.

5. Удосконалено загальну структуру і програмне забезпечення системи автоматичного антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції, яка реалізує запропонований метод виявлення настання помпажних явищ в нагнітачі відцентрового типу на газоперекачувальних агрегатах з газотурбінним приводом в реальному часі шляхом контролю і аналізу динамічної зміни в групі параметрів, що характеризують роботу нагнітача. Це дало змогу зменшити час визначення моменту наступлення помпажних явищ в нагнітачах до 0,01с і здійснювати виведення його зі стану помпажу шляхом формування сигналу на антипомпажний регулятор та інші засоби керування газоперекачувальним агрегатом.

6. Розроблена система автоматичного антипомпажного регулювання та захисту відцентрового нагнітача випробувана на газоперекачувальному агрегаті ГПА №9 в умовах дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу «Більче-Волиця». Результати натурних досліджень підтвердили достовірність отриманих теоретичних результатів на основі використання розробленого методу захисту відцентрового нагнітача від помпажу і системи автоматичного антипомпажного регулювання. Розроблені алгоритми і програмне забезпечення закладено в основу створеної АСКТП газоперекачувальним агрегатом, здійснено впровадження теоретичних результатів дослідження для розв'язання низки практичних задач на ГПА №9 ДКС ПСГ «Більче-Волиця». Розроблена система автоматичного антипомпажного регулювання прийнята в промислову експлуатацію УМГ «Львівтрансгаз» і включена проектними установами ДК «Укртрансгаз» в технологічні схеми облаштування ряду компресорних станцій в складі АСКТП нижнього рівня транспортування газу.

Наукові положення, висновки і рекомендації, що викладені у дисертації, використовуються в лекційному курсі «Автоматизація технологічних процесів в нафтовій і газовій промисловості» для студентів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, що підтверджено відповідним актом впровадження.

Результати роботи можуть бути рекомендовані для використання підприємствами ДК «Укртрансгаз», НАК «Нафтогаз України», а також у дипломному проектуванні для студентів спеціальності 7.0925.01 – автоматизоване управління технологічними процесами.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Гіренко С.Г. Метод автоматизованого захисту компресора докачуючої компресорної станції підземного сховища газу від помпажу / С.Г. Гіренко // Нафтогазова енергетика.– 2008.– №1(6) .– С.43-47.

2. Гіренко С.Г. Математичне моделювання ланок підсистеми антипомпажного регулювання докачуючої компресорної станції підземного сховища газу / С.Г.Гіренко // Нафтогазова енергетика, 2008, №2(7). – С.48-52.
3. Гіренко С.Г. Моделювання елементів магістрального газопроводу як об'єкта управління / С.Г.Гіренко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008.–№3.– С.76-81.
4. Гіренко С.Г. Математична модель та критерії нестационарності режимів транспортування газу для задач автоматизації процесів керування газотранспортною системою / С.Г.Гіренко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008.– №1.– С.63-69.
5. Семенцов Г.Н. Спосіб визначення оптимальних параметрів налаштування ПІД-регулятора системи антипомпажного регулювання і захисту компресора газоперекачувального агрегату докачуючої компресорної станції підземного сховища газу/ Г.Н.Семенцов, С.Г.Гіренко // Нафтогазова енергетика. - №3(8). – 2008. – С.59-63.
6. Гіренко С.Г. Функції автоматизованої системи антипомпажного захисту та регулювання газоперекачувальних агрегатів на докачуючих компресорних станціях підземних сховищ газу // Нафтогазова енергетика. – 2007.– №4(5). – С.43-46.
7. Гіренко С.Г. Аналіз способів та систем автоматизації антипомпажного захисту та регулювання роботи газоперекачувальних агрегатів/ С.Г.Гіренко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007.– №6.– С.25-28.
8. Баранник Н.Г. Выбор программных средств для разработки распределенных информационных систем в газотранспортной промышленности / Н.Г.Баранник, И.Н.Богаенко, С.Г.Гиренко, Г.С.Коденский, В.Л. Вялов // Вісник Технологічного університету Поділля.– 2002.– №3.– С.12-15.
9. Пат. 52128А Україна. Спосіб захисту компресора від помпажу / Гіренко С.Г., Спиченков Ю.М., Бобков В.Ю.– №2002021583; заявл.26.02.2002; опубл.16.12.2002, Бюл.№12.–3 с.
10. Пат. 89302 Україна. Спосіб захисту компресора від помпажу / Беккер М.В., Шимко Р.Я., Семенцов Г.Н., Бляут Ю.Є., Гіренко С.Г., Петеш М.О., Сукач О.В., Репета А.Ф. - № а2008 07810; заявл. 09.06.2008; опубл. 25.11.2009, Бюл. №22 . – 10с.
11. Гіренко С.Г. Антипомпажне регулювання та захист газоперекачувального агрегату докачуючої компресорної станції підземного сховища газу / С.Г.Гіренко // «Автоматика–2008»: доклади по матеріалам XV междунар. науч-практ.конф.– Одесса: ОНМА.– 2008.– С.741-745.
12. Семенцов Г.Н. Діагностування передпомпажного стану газоперекачувального агрегату (ГПА) / Г.Н.Семенцов, С.Г.Гіренко // П'ята Міжнар.наук.-техн.конф. і вист. «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання»: Зб. Тез доп.. – Івано-Франківськ: Факел. – 2008.– С.190-192..
13. Гіренко С.Г. Контроль і антипомпажний захист газоперекачувальних агрегатів докачуючої компресорної станції підземного сховища газу /С.Г.Гіренко // «Приладобудування 2008: стан і перспективи»: зб. доп. VII міжнар. наук.-техн.конф. – Київ: КПІ.– 2008.– С.241-242.

14. Гіренко С.Г. Загальна характеристика задачі захисту відцентрового нагнітача газоперекачувального агрегату докачуючої компресорної станції підземного сховища газу від помпажу /С.Г.Гіренко // «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2008»: сб. науч.трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф.– Том.2. Технические науки.– Одесса: Черноморье.–2008.–С.39-41.
15. Семенов Г.Н. Показник нестационарності для визначення моменту входу робочої точки нагнітача в зону помпажу / Г.Н.Семенов, С.Г.Гіренко // «Вимірювання витрати та кількості газу»: збірник тез доповідей 5^{ої} всеукраїнської науково-технічної конференції. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел.– 2007.– С.52.
16. Гіренко С.Г. Методи виявлення сигналів з випадковою амплітудою для попередження помпажних явищ компресорів докачуючи компресорних станцій / С.Г.Гіренко // «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании-2007»: сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. – Том.5, технические науки, физика и математика. – Одесса: Черноморье. – 2007. – С.26-30.
17. Семенов Г.Н. Критерій нестационарності руху газу в газотранспортній системі / Г.Н.Семенов, С.Г.Гіренко // «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki - 2007»: materialy II miezd. nauk.-prakt.conf.– Perzemysl: Nauka I studia. 2007.– Str.19-21.
18. Гіренко С.Г. Нові методи антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів /С.Г.Гіренко // «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2007»: сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф.– Одесса: Черноморье.– 2007.– С.18-19.
19. Гіренко С.Г. Вимоги до антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів компресорного цеху підземного сховища газу / С.Г.Гіренко // «Vedecky potencial sveta»: materialy IV mezinar. ved.-prakt.conf.– Praha: Publishing Nause «Education and Science» s.r.o.– 2007.– Stran. 7-11.
20. Коденський Г.С. Досвід створення і впровадження в дію програмно-технічного комплексу контролю та управління територіально розосередженими об'єктами /, О.М.Глухов, Є.В.Олігов, С.Г.Гіренко // «Мікропроцесорні пристрої та шляхи в автоматизації виробничих процесів»: зб. наук. праць по матеріалами міжнар. наук.-практ. конф. – Хмельницький. Вісник Технологічного університету Поділля.– 2003.– С.11-13.
21. Беккер М.В. Особенности построения интегрированных систем контроля, управления и регулирования технологическим оборудованием компрессорных станций магистральных газопроводов (ИАСУТП КС) / М.В.Беккер, Я.С.Марчук, В.В.Дубровский, Г.С.Коденский, С.Г.Гиренко, В.Л.Вялов // «Нафта і газ України–2002»: матеріали 7^{ої} міжнар.наук.-практ. конф. – Київ: Нора-прінт. – 2003.– С.243-244.

Анотація

Гіренко С.Г. Автоматичне антипомпажне регулювання відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступення кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2010.

Дисертацію присвячено розробці методу для автоматичного антипомпажного регулювання і захисту відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу, що дозволяє скоротити час на виявлення коливань у проточній частині компресора шляхом визначення координат робочої точки відцентрового нагнітача в системі координат «політропний напір – об'ємна витрата», або «ступінь стиснення газу – масова витрата» та врахування якісного досвіду експертів і експериментальних даних.

Запропоновано метод автоматичного захисту відцентрового нагнітача від помпажу в робочому режимі компресора, який ґрунтується на інформації про комплекс параметрів, за допомогою яких визначається поточне значення віддаленості координат робочої точки нагнітача від заданої величини, а також мінімальне значення віддаленості, яке далі використовується як поточне і по відношенню до нього розраховується сигнал розузгодження при керуванні органами керування і при здійсненні антипомпажного регулювання. Цим забезпечується надійний захист відцентрового нагнітача від раптового виникнення помпажу при швидкодючих збуреннях, або флуктуаціях газового потоку за умови незмінності заданої межі помпажу.

Ключові слова: автоматичне регулювання, відцентровий нагнітач, помпаж, автоматичний захист, дотискувальна компресорна станція, система керування.

Анотація

Гиренко С.Г. Автоматическое антипомпажное регулирование центробежного нагнетателя дожимной компрессорной станции. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск. – 2010.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи разработки метода автоматического антипомпажного регулирования и защиты центробежного нагнетателя дожимной компрессорной станции подземного хранилища газа, для сокращения времени обнаружения колебаний в проточной части компрессора путем определения координат рабочей точки центробежного нагнетателя в системе координат «политропный напор – объемный расход», или «степень сжатия газа – массовый расход» и учета опыта экспертов, а также априорной информации.

Проведен анализ основных методов антипомпажного регулирования и защиты компрессоров от помпажа. Обоснована необходимость усовершенствования существующих методов автоматической защиты компрессоров от помпажа и разработки новых подходов и систем автоматического антипомпажного регулирования. Предложено использовать идентификацию предпомпажного состояния в компрессоре дожимной компрессорной станции подземного хранения газа путем обнаружения начала колебаний в проточной части на базе динамики изменений комплекса показателей работы газоперекачивающего агрегата.

Предложено уравнение фазовых траекторий, которое характеризует явление помпажа в центробежном нагнетателе, что дало возможность выявить условия динамической устойчивости нагнетателя, обосновано выбрать комплекс параметров, которые характеризуют явление помпажа и использовать их для синтеза системы автоматического антипомпажного

регулирования и защиты. Разработан оригинальный метод автоматической защиты центробежного нагнетателя от помпажа в рабочем режиме компрессора, который основан на информации о комплексе параметров, с помощью которых определяется поточное значение удаленности координат рабочей точки нагнетателя от заданой величины, а также минимальное значение заданой удаленности, которое в дальнейшем используется как поточное и по отношению к нему рассчитывается сигнал рассогласования для управления исполнительными механизмами и осуществления антипомпажного регулирования. Тем самым обеспечивается надежная защита центробежного нагнетателя от внезапного возникновения помпажа, в том числе жесткого, при быстродействующих возмущениях или флуктуациях газового потока при условии неизменности заданой границы помпажа.

Синтезировано логическую функцию защиты центробежного нагнетателя от помпажа в нормальной дизъюнктивной форме, что дало возможность разработать одноконтурную структурную схему безконтактной системы управления антипомпажным клапаном, которая обеспечивает надежную защиту центробежного нагнетателя от жесткого помпажа. В работе синтезирована также система автоматического антипомпажного регулирования, исходя из специфики задачи автоматического управления на базе созданной математической модели с учетом нестационарного характера явления помпажа и формального описания всех компонентов постановки задачи. Для реализации разработанного метода, алгоритмического и программного обеспечения антипомпажного регулирования центробежного нагнетателя дожимной компрессорной станции изготовлена, внедрена и испытана компьютерная система контроля и управления, базирующаяся на использовании аппаратных средств системы автоматического управления газоперекачивающим агрегатом №9 в условиях дожимной компрессорной станции подземного хранения газа «Бильче-Волыця». Система реализует предложенный метод обнаружения появления помпажных явлений в нагнетателях центробежного типа на газоперекачивающих агрегатах с газотурбинным приводом в реальном времени путем контроля и анализа динамических изменений в группе параметров, которые характеризуют работу нагнетателя. Это дало возможность уменьшить время обнаружения момента появления помпажных явлений в нагнетателях до 0,01с и обеспечивать выведение его из состояния помпажа путем формирования сигнала на антипомпажный регулятор и антипомпажный клапан.

Результаты диссертационной работы внедрены на дожимной компрессорной станции подземного хранилища газа «Бильче-Волыця» и компрессорной станции «Рогатын», а также в учебный процесс на кафедре автоматизации технологических процессов и мониторинга в экологии Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа. Применение предложенного метода позволяет повысить эффективность работы автоматизированной системы управления газоперекачивающими агрегатами для защиты центробежных нагнетателей от помпажа. Полученные теоретические результаты были исследованы экспериментально на промышленном объекте, где показали свое преимущество перед известными методами.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, центробежный нагнетатель, помпаж, автоматическая защита, дожимная компрессорная станция, системы управления.

Annotation

Girenko S.G. Automatic antypompage control of centrifugal supercharger of compressor station. - Manuscript.

The thesis for a candidate of technical sciences degree on speciality 05.13.07 - automation of control processes. – Ivano-Frankivsk Technical National University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk. – 2010.

The thesis is devoted to development of methods of automatic antypompage control and protection of centrifugal supercharger of the compressor station of dug-out of gas, that allows to shorten time on the exposure of vibrations in running part of compressor by determination of co-ordinates of q-point of centrifugal supercharger in the system of co-ordinates a «polytropic pressure - volume expense», or a «degree of compression of gas - mass expense» and account of high-quality experience of experts and experimental information.

The method of automatic pompage protection of compressor centrifugal supercharger in the operating condition is offered. This method is based on information about the complex of parameters, which help to determinate the current value of remoteness of co-ordinates of q-point of supercharger from the set value, and also minimum value of remoteness, which is farther used as current and for the determination of the signal of error settles accounts for the control of management devices and realization of antypompage adjustings. This provides the reliable protecting for centrifugal supercharger from the sudden origin of pompage at fast-acting indignations, or fluctuations of gas stream, on condition of invariability of the set limit of pompage.

Keywords: automatic control, centrifugal supercharger, pompage, automatic defence, the compressor station, systems of control.

НТБ
ІФНТУНГ



an2139