

## АВТОМАТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА АНТИПОМПАЖНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАГНІТАЧА ДОТИСКУВАЛЬНОЇ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

Ю.Є. Бляут, С.Г. Гіренко, М.О. Петеш, Г.Н. Семенцов

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067,  
e-mail: kafatr@pung.edu.ua

*Розроблено метод автоматичної ідентифікації антипомпажного регулювання і захисту відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу від помпажу, що дає змогу 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 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. 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 швидкодіючих 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.

*Разработан метод автоматической идентификации антипомпажного регулирования и защиты центробежного нагнетателя дожимной компрессорной станции подземного хранилища газа от помпажа, что позволяет сократить время на обнаружение колебаний в проточной части компрессора путем определения координат рабочей точки центробежного нагнетателя в системе координат «политропные напор - объемный расход», или «степень сжатия газа - массовый расход» и учета опыта экспертов и экспериментальных данных.*

*Предложен метод автоматической защиты центробежного нагнетателя от помпажа в рабочем режиме компрессора, который базируется на информации о комплексе параметров, с помощью которых определяется текущее значение удаленности координат рабочей точки нагнетателя от заданной величины, а также минимальное значение удаленности, которое далее используется как текущее и по отношению к нему рассчитывается сигнал рассогласования при управлении органами управления и при осуществлении антипомпажного регулирования. Этим обеспечивается надежная защита центробежного нагнетателя от внезапного возникновения помпажа при быстродействующих возмущениях, или флуктуациях газового потока при условии неизменности заданной границы помпажа.*

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

*The doclad 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 determine 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.

Синтез ефективних систем автоматичної ідентифікації помпажних характеристик та антипомпажного регулювання відцентрового нагнітача (ВН) дотискувальної компресорної станції (ДКС) підземного сховища газу (ПСГ) є актуальною науково-практичною задачею у зв'язку із необхідністю забезпечення високої надійності функціонування єдиною системою газопостачання, стійкої роботи компресорів

ДКС ПСГ при змінах динамічного опору в колекторі системи збору газу і надійного захисту компресорів від помпажу.

Проте аналіз літературних джерел [1–4 та ін.] свідчить про недостатній об'єм проведених досліджень у напрямку створення системи автоматичної ідентифікації помпажних характеристик та антипомпажного регулювання відцентрових нагнітачів (ВН) ДКС ПСГ.

Тому метою даної роботи є теоретичні і експериментальні дослідження розробленої, виготовленої і впровадженої системи автоматичного антипомпажного регулювання ВН ДКС ПСГ «Більче-Волиця».

Паспортні характеристики нагнітачів, що надаються заводом виготовлювачем, є «усередненими» і не відображають індивідуальних витрато-напірних властивостей кожного нагнітача. Окрім того, заводи (інститути) при побудові характеристик з метою забезпечення гарантованого помпажного захисту і регулювання зміщують помпажну лінію вправо (за графіком), щоби застрахуватися від роботи нагнітачів в критичних передпомпажних навантажувальних режимах. Це все призводить до «звуження» реального робочого діапазону нагнітача, антипомпажний захист та регулювання виконуються з значним випередженням, що не дозволяє експлуатаційному персоналу максимально використовувати наявні на КС потужності. В реальних умовах експлуатації, коли в граничних режимах роботи компресорного цеху на відбір, або закачування доводиться експлуатувати ГПА в передпомпажних областях – персоналу змушений включати в роботу додаткові потужності (ГПА), або/і розвантажувати компресорну станцію режимними кранами, створюючи байпасування (рециркуляцію) транспортованого газу. Переведення ступені КС, агрегату, або цілого компресорного цеху в режим байпасування призводить до:

- перевитрат паливного газу;
- неоптимального витрачання моторесурсу обладнання;
- використання задіяних потужностей з надзвичайно низьким коефіцієнтом навантаження.

Ще одним чинником, який ускладнює проблему і робить роботу компресорного цеху в режимі рециркуляції низькоефективною, є відсутність на більшості КС газотранспортної системи України регулюючих режимних клапанів, які відповідають за байпасування транспортованого газу в межах компресорного цеху. Тобто (наводимо технологічну схему ДКС Дашава в режимі транспортування з рециркуляцією та без неї) встановлені на КС режимні крани є саме кранами, а не регулюючими клапанами, що не призначені для плавного (точного) регулювання потоку газу, який проходить через них. Отже, регулювати об'єм рециркуляції по групі ГПА, ступені компресорного цеху, або КС загалом можна тільки ступінчасто з значною дискретністю, тільки підбираючи діаметр перепускного крану, яким буде здійснюватися «перепускання газу». Типовими діаметрами режимних кранів, що використовуються на КС ДК «Укртрансгаз», є ДУ-150, ДУ-300 та ДУ-700. Такі ж крани використовуються на об'єкті дослідження ДКС Дашава, а необхідні діаметри розраховуються при проектуванні компресорної станції в залежності від її продуктивності та транспортної здатності встановлених потужностей. Значною проблемою, яка виникає при такому «інтуїтивному» підборі експлуатаційним персона-

лом необхідного для забезпечення рециркуляції діаметра режимного крану, є висока ймовірність помилки, отже: або значне недовантаження працюючих потужностей КС, або, навпаки, потрапляння в помпаж і, як наслідок, виникнення аварійної зупинки (АЗ) з непрогнозованими для обладнання наслідками.

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. Застосовано методу 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:

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

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%. Коефіцієнт затухання

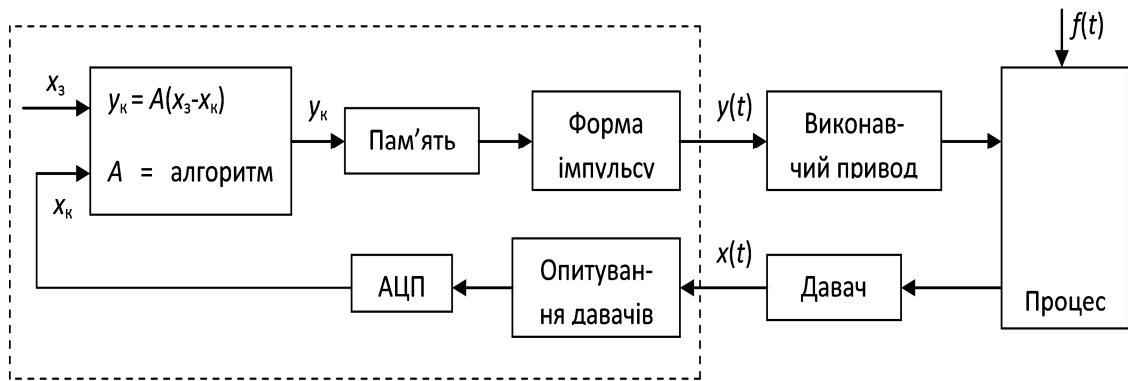
$\xi = \frac{T_{02}}{2T_{01}} = 1,004 > 1$ . Розрахунки виконали в

програмному пакеті Mathcad.

Здійснено структурно-параметричну оптимізацію підсистеми дискретного автоматичного антипомпажного регулювання ВН ГПА ДКС ПСГ (рис. 1).

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 ПД-регулятор.

Для визначення параметрів налаштування ПД-регулятора скористались методом Ціглера-Нікольса в математичному редакторі Mathcad і такими співвідношеннями для даної системи:



$f(t)$  – збурюючий вплив;  $x_3$  – задане значення керованої величини;  
 $x_k$  – контрольоване значення керованої величини;  $y(t)$  – керувальний вплив.

Рисунок 1 – Підсистема дискретного антипомпажного регулювання ДКС ПСГ

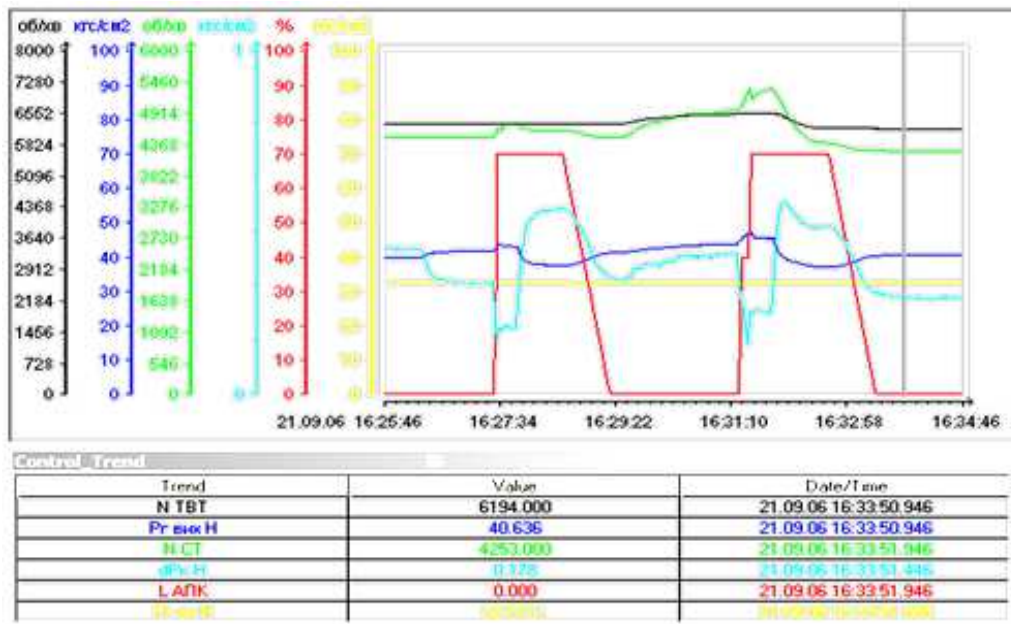


Рисунок 2 – Приклад дискретного автоматичного антипомпажного регулювання

$$S_1^{\hat{\omega}} = 0,6S_1^{\hat{\delta}}, \quad S_2^{\hat{\omega}} = 0,192S_1^{\hat{\delta}} \omega_{\hat{\delta}}$$

$S_2^{\hat{\omega}} = 0,471S_1^{\hat{\delta}} \omega_{\hat{\delta}}$ , де  $S_1^{\hat{\epsilon}p}$  – критичний параметр налаштування пропорційної частини регулятора (при  $S_0 = S_2 = 0$ ), при якому система буде знаходитись на межі стійкості;  $\omega_{kp}$  – критична частота, яка відповідає параметру  $S_1^{\hat{\epsilon}p}$ .

В результаті отримали такі значення параметрів налаштування ПІД-регулятора:

$$S_1^{opt} = 4,383 \% \text{ ходу рег.орг./ кгс/см}^2,$$

$$S_2^{\hat{\omega}} = 0,927 \text{ с}, \quad S_0^{\hat{\omega}} = 5,205 \text{ с}.$$

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 зник-

нення помпажних коливань АПК автоматично закривається. При повторному виникненні помпажу система повторно здійснює форсоване відкриття антипомпажного клапана (рис.2).

Підсистема побудована на базі контролерів фірми «Сіменс». Керованим 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 4-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. У випадку неможливості виведення агрегату з режиму помпажу за умови нормальної роботи підсистем АПР та АПК забезпечується аварійна зупинка ГПА за командою «АЗ».

На підставі аналізу поточного стану агрегату і комплексу параметрів підсистемою робиться висновок про наявність помпажних явищ у нагнітачі та їх класифікація. Також аналізується швидкість розвитку самого процесу: так звана “швидкість входження в помпаж”. Далі підсистемою проводиться розрахунок процентного ступеня відкриття АПК, (час реакції – не більше 10 мс) і віддається команда на його керування із занесенням відповідних повідомлень в журнал подій. Контроль за керуванням АПК ведеться підсистемою безперервно, а також проводиться 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 сформульованим завданням. 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.

### **Висновок**

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 проєктними установами ДК «Укртрансгаз» в технологічні схеми облаштування ряду компресорних станцій в складі АСКТП нижнього рівня транспортування газу.

### **Література**

- 1 Семенцов Г.Н. Основи моніторингу технологічних об’єктів нафтогазової галузі / Г.Н.Семенцов, М.М.Дранчук [та ін.] // Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 808 с.
- 2 Семенцов Г.Н. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій і газовій промисловості / Г.Н.Семенцов, Я.Р.Когуч, Я.В.Куровець, М.М.Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с.
- 3 Гіренко С.Г. Моделювання елементів магістрального газопроводу як об’єкта управління / С.Г.Гіренко // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – 2008. – №3. – С.76-81.
- 4 Гіренко С.Г. Автоматичне антипомпажне регулювання відцентрового нагнітача дотискувальної компресорної станції: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн.наук: спец.05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / С.Г.Гіренко. – Івано-Франківськ, 2010. – 20 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
22.11.11*

*Рекомендована до друку професором  
М. І. Горбійчуком*