

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПОМПАЖНОЇ РОБОТИ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТА ТИПУ ГТК-10

А.В.Слободян

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067
e-mail: kafatp@ukr.net

Розглядається питання визначення запасу до помпажу для газоперекачувального агрегату типу ГТК-10. Створено систему для визначення запасу до помпажу прямим на непрямим методами. Запропонована система є автономною та може встановлюватись на газоперекачувальний агрегат без його комплексної модернізації

Ключові слова: помпаж, газоперекачувальний агрегат, нагнітач, МІК-51

Рассматривается вопрос определения запаса к помпажу для газоперекачивающего агрегата типа ГТК-10. Создана система, позволяющая определять запас к помпажу прямым и косвенным методами. Предложенная система является автономной и может устанавливаться на газоперекачивающий агрегат без его комплексной модернизации.

Ключевые слова: помпаж, газоперекачивающий агрегат, нагнетатель, МІК-51

This paper shows the problem of determining the surge distance for GTK-10 gascompressor unit. Designed system determines surge distance using direct and indirect approaches. This system is autonomous and can be implemented without a total modernization of gascompressor unit.

Keywords: surge; gascompressor unit, compressor, МІК-51.

На сьогодні в Україні експлуатується близько 70 газоперекачувальних агрегатів (ГПА) типу ГТК-10, більшість з яких функціонують без системи передпомпажного попередження, тому про помпаж оперативний персонал дізнається безпосередньо у момент його початку, коли вже немає часу на прийняття мір щодо його попередження, а можливе лише зменшення його наслідків. Отже, розроблення системи передпомпажного попередження є актуальним науково-технічним завданням, оскільки надійна робота ГПА можлива лише за наявності такої системи.

Дане питання є важливим, оскільки надійна робота ГПА впливає на режим роботи газопроводу, від якого залежить безперебійне постачання газу споживачам та його транспортування територією України.

Проте аналіз останніх досліджень та публікацій ([1-5] та ін.) свідчить, що в даному напрямку проведено недостатній об'єм досліджень і на сьогодні не існує оптимального методу визначення віддаленості робочої точки ГПА від границі помпажу. Наразі в газотранспортній системі України працює значна кількість ГПА різного типу. Найчисельнішими є ГПА з газотурбінним приводом з вільною силовою турбіною та відцентровим нагнітачем (Н). У процесі експлуатації газопроводу помітно змінюються тиск і температура на вході у Н, витрата газу, кількість паралельно працюючих ГПА, що викликає відповідні зміни режимних параметрів на виході з КС [1]. Режим роботи Н ГПА постійно змінюється під час його експлуатації. Це пов'язано зі зміною споживання газу, складу газу, умов навколишнього середовища, а також зміною технічного стану ГПА в цілому. Основними параметрами роботи ГПА є тиск

газу на вході (P_{ex}) та тиск газу на виході Н (P_{aux}), частота обертів ротора Н, температура газу на вході та на виході Н, температура продуктів згоряння перед турбіною високого тиску (ТВТ).

Питання автоматичного регулювання параметрів роботи ГПА добре досліджено. Наприклад, до цього часу успішно працюють системи автоматики, які введені в експлуатацію ще в 70-х роках минулого століття. Однак важливою є проблема регулювання роботи ГПА в режимах, близьких до помпажу, та безпосередньо при ньому, особливо для ГПА, які не обладнані сучасними протипомпажними системами. При цьому слід враховувати, що помпаж – це зрив потоку газу з лопаток колеса нагнітача з можливим прориванням його з нагнітального патрубка у всмоктувальний, що супроводжується значною вібрацією, шумом, різкою зміною робочих параметрів ГПА. Кожен помпажний удар зменшує моторесурс ГПА мінімум на 50 мотогодин [2].

Проведений аналіз свідчить, що більшість сучасних систем автоматичного керування (САК) ГПА визначають робочу точку та запас до помпажу шляхом розрахунку витрати газу через всмоктувальний конфузур нагнітача і порівняння її з статичними характеристиками Н в координатах „ступінь стиску – об'єм перекачування“. Це – так званий непрямий метод. Перевагами непрямого методу є можливість вимірювання поточної витрати газу крізь нагнітач, і відслідковування тенденцію зміни режиму газопроводу і ГПА задовго до виникнення помпажу. До недоліків непрямого методу відносять велику (в кращому випадку до 10%) похибку визначення границі помпажу. Це пов'язано з

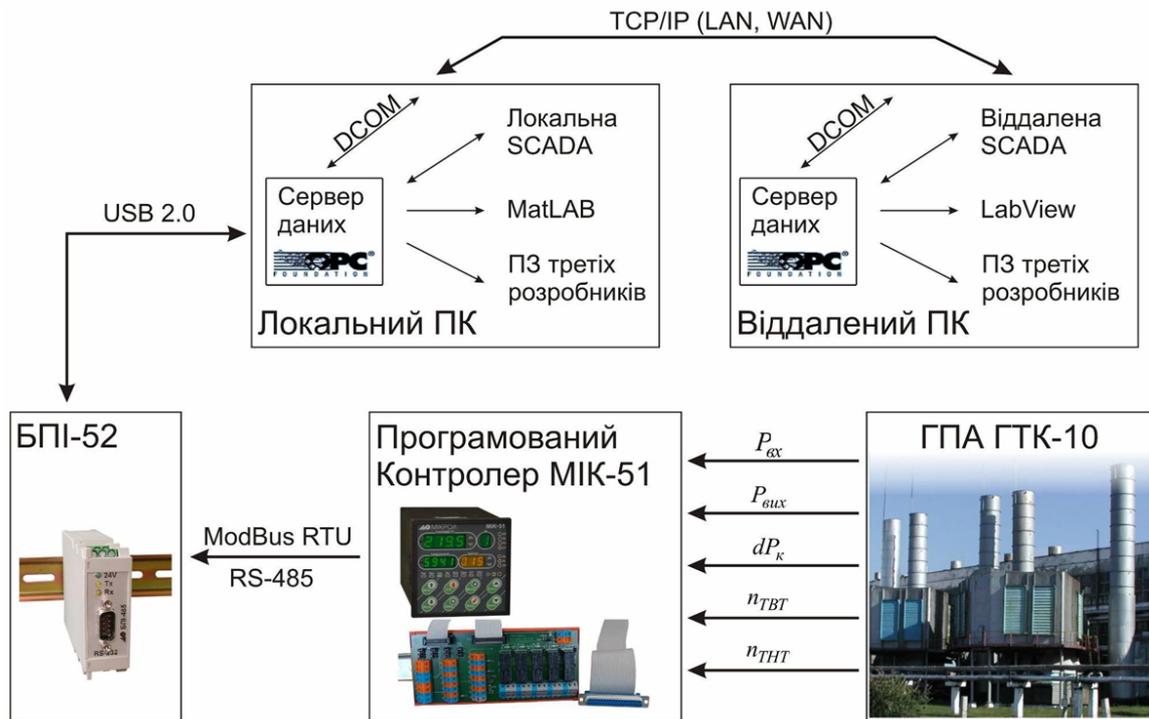


Рисунок 1 – Блочна схема запропонованої системи

неточністю методу вимірювання витрати газу шляхом визначення перепаду тиску на звукувальному конфузори (dP_k).

З часом характеристики нагнітача змінюються, і результати, визначені непрямим методом, отримують додаткову похибку, що впливає на результат розрахунку запасу до помпажу, і, в свою чергу, на прийняття рішення оперативним персоналом (ОП) та на роботу активної протипомпажної системи за її наявності.

Іншим відомим методом є прямий метод, суть якого полягає у вимірюванні пульсації dP_k . Під час аналізу коливань газового потоку у нагнітачі таким методом можливо визначити дійсну границю помпажу і розширити робочу область нагнітача до границі передпомпажної зони [3]. Перевагою даного методу є його масовість (не потрібно конкретних характеристик за типами нагнітача), незалежність від точності вимірювання dP_k (головне – динаміка зміни параметра). Недоліком, на нашу думку, є те, що використовуючи тільки прямий метод ОП КС за умови роботи ГПА на значній відстані від помпажної зони неможливо відслідкувати поступове наближення до неї.

Отже, невирішеною частиною проблеми є створення системи передпомпажного попередження та визначення робочої точки (СПП) ГПА, яка б поєднувала переваги кожного з методів розрахунку запасу до помпажу.

Метою даної роботи є створення СПП з достатньою для надійної роботи ГПА точністю та швидкодією для визначення точних значень робочої точки ГПА та запасу до помпажу, що забезпечить економію моторесурсу ГПА, дасть змогу уникнути позапланових ремонтів облад-

нання, та уможливить ефективне використання паливного газу.

Встановлення СПП є високовартісним і тривалим, оскільки, зазвичай, протипомпажні системи входять до САК ГПА і встановлюються з заміною автоматики. Отже, практична цінність недорогої системи передпомпажного попередження є досить значною. Автономна СПП є єдиним способом збереження від наслідків помпажу моторесурсу ГПА, на яких немає сучасної САК.

Цьому сприяє використання технології OPC [англ. OLE for Process Control], яка дає можливість одночасного доступу до даних в реальному часі довільної кількості клієнтів. Логічно, що такий режим доступу до даних відкриває широкі можливості їх наукового аналізу різними програмними пакетами, спеціалістами з експлуатації та науковцями. Накопичення та аналіз даних з різних типів ГПА є необхідною умовою при створенні адаптивних та інтелектуальних СПП.

Розроблена система складається із первинних вимірювальних перетворювачів, програмованого логічного контролера, блоку перетворення інтерфейсів та робочої станції з встановленою на ній SCADA системою та іншим програмним забезпеченням (рис. 1).

У таблиці 1 наведено технологічні параметри ГПА, необхідні для роботи системи, а також технічні характеристики каналів вимірювання та первинні перетворювачі.

Всі наведені вище параметри, окрім dP_k , використовуються системою централізованого контролю та управління (СЦКУ) ГПА, тому немає потреби монтувати додаткові датчики. Дані підходять до програмованого мікропроцесорного контролера МІК-51.

Таблиця 1 – Технологічні параметри ГПА і характеристики каналів вимірювань

| № з/п | Назва параметра | Канал | Давач | Технічні одиниці | Сигнал |
|-------|---|---------------|-----------------------|------------------|------------|
| 1 | Перепад тиску газу на звужувальному конфузори | dP_{κ} | Honeywell 3000 series | 0-0,15МПа | 4-20мА |
| 2 | Тиск газу на вході нагнітача | $P_{вх}$ | TEX UAG97L | 0-10 МПа | 4-20мА |
| 3 | Тиск газу на виході з нагнітача | $P_{вих}$ | TEX UAG97L | 0-10 МПа | 4-20мА |
| 4 | Частота обертів турбіни високого тиску | $n_{ТНТ}$ | ВЦТ-1/L | 0-5000 об/хв | інтерфейс* |
| 5 | Частота обертів турбіни низького тиску | $n_{ТНТ}$ | ВЦТ-1/L | 0-5000 об/хв | інтерфейс* |

Контролер МІК-51 – це компактний мало-каналний багатфункціональний промисловий мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання і логічного керування технологічними процесами [7]. Він проводить обробку даних та їх передавання протоколом MODBUS-RTU на блок перетворення інтерфейсу БПІ 52, вздовж інтерфейсу USB 2.0 дані надходять до робочої станції (ПК) з OPC сервером. Це, в свою чергу, дозволяє проводити аналіз даних різними методами та порівнювати отримані результати без додаткових затрат часу на синхронізацію, обробку, та передавання даних. Загальний час, що витрачається на обслуговування функціональних блоків та інтерфейсного каналу, є меншим від часу циклу, рівного 0,1с.

Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) ІЕС 1131-3 і призначена для розробки прикладного програмного забезпечення збору даних і управління технологічними процесами, виконуваними на програмованих контролерах.

Далі подамо короткий опис математичного апарату для визначення запасу до помпажу непрямым методом. Для визначення продуктивності нагнітача НЗЛ 520-12-1 визначають перепад тисків dP_{κ} на всмоктувальних камерах на ділянці між входним патрубком нагнітача та входом в робоче колесо [8]. Обробка поверхні в конфузори з допуском 0,1 мм забезпечує ідентичність їх виготовлення та рівності коефіцієнтів витрати всмоктувальних камер всіх однотипних нагнітачів. Отвори для відбору тиску перед всмоктувальною камерою повинні розміщуватись на входному трубопроводі перед патрубком нагнітача. Об'ємну продуктивність нагнітача за умовами всмоктування визначають за формулою [1]:

$$Q_{вс} = A l \sqrt{\frac{dP_{\kappa}}{\gamma}} \left[\frac{м^3}{хв} \right], \quad (1)$$

де: dP_{κ} – перепад тиску на всмоктувальній камері, мм.рт.ст.;

γ – відносна вага газу перед нагнітачем, кг/м³;

A – коефіцієнт витрати обчислюється за результатами тарування камери з допомогою витратомірної діаграми на випробувальному стенді (однотипні нагнітачі мають однакові значення коефіцієнта A). Наприклад, для нагнітача 520-12-1 $A = 128,8$;

l – поправка на стиснення газу в камері, яка обчислюється за результатами тарування камери.

Відносна вага газу перед нагнітачем, визначається за формулою [1];

$$\gamma_{н} = \frac{1033}{293R} = \frac{35,2}{R} \left[\frac{кг}{м^3} \right], \quad (2)$$

де R – газова стала.

Формула (1) використовується для обчислення величини показників адіабати газу $k = 1,31$ [1],

$$l = 1 - 1,385 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p}{P_{вх}}. \quad (3)$$

Знаючи об'ємну продуктивність нагнітача, її можна порівняти з номінальною об'ємною продуктивністю нагнітача у даному режимі роботи ГПА. Для цього слід визначити степінь стисливості газу, і за допомогою номограми провести обчислення наближеності ГПА до точки помпажу. Для автоматизації розрахунків криві з номограми (всього 9 кривих) апроксимовані поліномами 3-порядку, коефіцієнти яких записані до програми контролера, а відповідна крива інтерполюється в реальному часі.

Умова безпомпажної роботи [9] виконується за умови:

$$\frac{Q_{вс}}{Q_{вс\min}} > 1.1, \quad (4)$$

де $Q_{вс\min}$ – мінімальна продуктивність для даної відносної приведенної частоти обертання ротора ТНТ (за характеристикою нагнітача).

Верхній рівень системи розроблено із використанням демонстраційної версії SCADA пакету Simatic WinCC. Система не має над-

складних елементів керування тому, володіє базовими знаннями SCADA систем, її можна легко реалізувати в тому ж середовищі, в якому розроблено САК КС чи САК КЦ, цим самим зекономивши значні кошти на купівлю SCADA пакету. Якщо на об'єкті немає жодного SCADA пакету або існують об'єктивні причини, що не дозволяють його модернізувати, можна придбати недорогу SCADA систему від виробника контролера МІК-51.

Вартість обладнання для одного ГПА становить приблизно 10 тисяч гривень, що робить її доступною на кожній КС.

Розроблена система дає можливість визначити методом перепаду на звужувальному конфузори робочу точку ГПА та запас до помпажу. Реалізовані елементи аналізу динаміки параметрів ГПА, на відміну від статичних методів, не мають жорсткої прив'язки до точності вимірювання.

Новизна системи полягає в можливості одночасного використання різних методів визначення запасу до помпажу, що дають змогу поєднати переваги описаних вище систем та компенсувати їх недоліки. Впровадження системи не вимагає масштабних робіт та заміну існуючої системи автоматики, а лише доповнює її.

Застосування програмованого логічного контролера в системі передпомпажного попередження уможливило внесення змін до логіки роботи контролера, що є необхідною умовою проведення досліджень, розроблення нових методів та вдосконалення вже існуючих

Розроблена система є базою з широкими можливостями для проведення подальших наукових досліджень.

Також забезпечено широкі комунікаційні можливості системи в реальному часі через промислові, локальні та глобальні мережі зв'язку, що дасть можливість максимально ефективно обробляти та аналізувати отримані дані в різних середовищах.

Автором розроблено та введено в дослідну експлуатацію на КЦ-2 Долинського ЛВУМГ Прикарпаттрансгаз систему передпомпажного попередження та визначення робочої точки ГПА ГТК(ГТНР)-10 шляхом аналізу зміни технологічних параметрів dP_k , $P_{вх}$, $P_{вн}$, $n_{ГТТ}$. На даному етапі обчислення проводяться за непрямым методом. Збір даних здійснюється мікропроцесорним програмованим контролером МІК-51. Аналізується динаміка зміни всіх вхідних параметрів, що дозволяє розробити динамічний метод визначення запасу до помпажу.

Висновок

Запропонована система дасть змогу визначити запас до помпажу за двома методами, поєднавши їх переваги та компенсувавши недоліки. Низька вартість системи робить її доступною на КС, де не планується заміна САК ГПА. Широкі комунікаційні можливості системи, роблять її зручним інструментом під час проведення подальших досліджень помпажних явищ.

Література

1 Громов А.В. Эксплуатационнику магистральных газопроводов: Справочное пособие / [А.В. Громов, Н.Е. Гузанов, Л.А. Хачикян и др.]. – М.: Недра, 1987. – 261с.

2 Слободян А.В. Система передпомпажного попередження та визначення робочої точки газоперекачувального агрегату типу ГТК-10 на базі мікропроцесорного контролера МІК-51 / А.В. Слободян // Нафтогазова енергетика. – 2007.

3 Контроллер Малоканальный Многофункциональный Микропроцессорный МИК-51: руководство по эксплуатации ПРМК.421457.005 РЭ1,2. – Ивано-Франківськ, 2006.

4 Гуріненко В.М. Особливості розробки системи протипомпажного захисту нагнітача типу 520-12-1 цеху ГТК-10 / В.М. Гуріненко // Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». – 2005 – № 3(33). – С. 15–16.

5 Розгонюк В.В. Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Довідник / [В.В. Розгонюк, Л.А.Хачикян, М.А.Григіль та ін.] – К.: Росток, 1998. – 310 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
15.03.10*

*Рекомендована до друку професором
Г. Н. Семенцовим*