



Автономная система предпомпажного предупреждения позволяет существенно повысить надежность работы газоперекачивающих агрегатов без их комплексной модернизации

А.В. Слободян,
arny4work@ukr.net

Защита моторесурса ГПА

Сегодня в Украине эксплуатируется около 70 газоперекачивающих агрегатов (ГПА) типа ГТК-10, большинство из которых функционирует без системы предпомпажного предупреждения, и о помпаже оперативный персонал узнает непосредственно в момент его начала, когда уже нет времени для принятия мер для его избежания, возможно только уменьшить его последствия. Помпаж — это срыв потока газа с лопаток колеса нагнетателя с возможным прорывом его с нагнетательного патрубка во всасывающий, что сопровождается значительной вибрацией, шумом, резким изменением рабочих параметров ГПА.

Каждый помпажный удар уменьшает моторесурс ГПА минимум на 50 моточасов. Таким образом разработка системы предпомпажного предупреждения является актуальной научно-технической задачей, поскольку надежная работа ГПА возможна только при наличии противопомпажной системы. Созданная система, позволяющая определять запас к помпажу, является автономной и может устанавливаться на газоперекачивающий агрегат без его комплексной модернизации.

Автоматизация работы ГПА

Надежная работа ГПА влияет на режим работы газопровода, от которого зависит бесперебойная поставка газа потребителям и его транспортировка через территорию Украины. Однако анализ последних исследований и публикаций показывает, что в данном направлении проведен недостаточный объем исследований, и на сегодня нет эффективного метода опре-

деления отдаленности рабочей точки ГПА от границы помпажа. Сейчас в газотранспортной системе Украины работает значительное число ГПА разного типа.

Самыми многочисленными являются ГПА с газотурбинным приводом со свободной силовой турбиной и центробежным нагнетателем (Н). В процессе эксплуатации газопровода заметно изменяется давление и температура на входе в Н, затраты газа, число параллельно работающих ГПА, что вызывает соответствующие изменения режимных параметров на выходе компрессорной станции (КС). Режим работы нагнетателя ГПА постоянно изменяется во время эксплуатации. Это связано с изменением потребления газа, состава газа, условий окружающей среды, а также изменением технического состояния ГПА в целом. Основными параметрами работы ГПА являются давление газа на входе ($P_{вх}$) и выходе нагнетателя ($P_{вых}$), частота оборотов его ротора, температура газа на входе и выходе нагнетателя, температура продуктов сгорания перед турбиной высокого давления (ТВД).

Вопросы автоматического регулирования параметров работы ГПА хорошо исследованы. Например, до нынешнего времени успешно работают системы автоматики, которые введены в эксплуатацию еще в 70-х годах прошлого столетия. Но важной является именно задача регулирования работы ГПА в режимах, близких к помпажу и непосредственно при нем, особенно для ГПА, не оборудованных современными противопомпажными системами.

Методы расчета запаса к помпажу

Проведенный анализ показывает, что большинство современных систем автоматического управления (САУ) ГПА определяют рабочую точку и запас к помпажу путем расчета затрат газа через всасывающий конфузур нагнетателя и сравнения ее со статическими характеристиками Н в координатах «степень давления — объем перекачки». Это так называемый непрямоугольный метод. Преимуществами является возможность видеть текущую затрату газа через нагнетатель и отследить тенденцию

Табл. 1. Технологические параметры ГПА и характеристики каналов измерения

Параметр	Канал	Преобразователь	Технические единицы	Сигнал
Перепад давления газа на сужающем конфузуре	dP_k	Honeywell 3000 series	0—0,15 МПа	4—20мА
Давление газа на входе нагнетателя	$P_{вх}$	TEX UAG97L	0—10 МПа	4—20мА
Давление газа на выходе нагнетателя	$P_{вых}$	TEX UAG97L	0—10 МПа	4—20мА
Частота оборотов турбины высокого давления	$n_{ТВД}$	ВЦТ-1/L	0—5000 об/мин	Интерфейс*
Частота оборотов турбины низкого давления	$n_{ТНД}$	ВЦТ-1/L	0—5000 об/мин	Интерфейс*

* — интерфейс Modbus или OPC

▼ Мозг системы предпомпажного предупреждения

Контроллер МИК-51 отечественного производителя, фирмы «Микрол» (Ивано-Франковск), на базе которого создана представленная в статье система, — это компактный малокабельный многофункциональный промышленный микропроцессорный контроллер, предназначенный для автоматического регулирования и логического управления технологическими процессами. Архитектура контроллера обеспечивает возможность вручную или автоматически включать, выключать, переключать и изменять конфигурацию контуров регулирования, причем все эти операции выполняются безударно независимо от сложности структуры управления. В соединении с обработкой аналоговых сигналов контроллер МИК позволяет выполнять также логические преобразования сигналов и формировать аналоговые, импульсные и дискретные сигналы управления. Логические функциональные блоки формируют логическую программу шагового управления с анализом условий выполнения каждого шага, заданием контрольного времени на каждом шагу и условным или безусловным переходом программы к заданному шагу. МИК-51 содержит средства оперативного управления, размещенные на передней панели контроллера. Эти средства позволяют вручную изменять режимы работы, устанавливать задания, управлять ходом исполнения программы, вручную управлять исполнительными устройствами, контролировать сигналы и отображать ошибки. Контроллеры МИК можно объединять и в локальную управляющую сеть шинной конфигурации с интерфейсом

RS-485 и протоколом ModBus, максимум 32 контроллера. МИК-51 проводит обработку данных и их передачу по протоколу MODBUS-RTU на блок преобразования интерфейса БПИ 52, далее по интерфейсу USB 2.0 данные поступают на рабочую станцию (ПК) с OPC-сервером. Это в свою очередь позволяет проводить анализ данных разными методами и сравнивать полученные результаты без дополнительных затрат времени на синхронизацию, обработку и передачу данных. Программирование контроллера выполняется с помощью клавиш передней панели, через ПК либо специального программного обеспечения — визуального редактора FBD-программ АЛЬФА. Как язык программирования в системе реализован язык функциональных блочных диаграмм Function Block Diagram. Библиотека насчитывает более 50 типов зашитых в ПЗУ функциональных блоков непрерывной и дискретной обработки информации, включая функциональные блоки математических, динамических, нелинейных, аналогово-дискретных и логических преобразований. Общее время, затрачиваемое на обслуживание функциональных блоков и интерфейсного канала, меньше времени цикла, равного 0,1 с. Система программирования реализована в соответствии с требованиями стандарта IEC 1131-3 и предназначена для разработки прикладного ПО сбора данных и управления технологическими процессами, выполняемыми на программируемых контроллерах.

изменения режима газопровода и ГПА задолго до возникновения помпажа.

К недостаткам непрямого метода относят большую (в лучшем случае до 10 %) погрешность определения границы помпажа. Это связано с неточностью метода измерения затрат газа путем определения перепада давления на сужающем конфузоре (dP_k). Со временем характеристики нагнетателя изменяются и результаты, определенные непрямым методом, получают дополнительную погрешность, что влияет на результат расчета запаса к помпажу, и в свою очередь на принятие решения оперативным персоналом (ОП) и на работу активной противопомпажной системы при ее наличии.

Вторым известным методом является прямой метод, суть которого состоит в измерении пульсации dP_k . При анализе колебаний газового потока в нагнетателе есть возможность определить действительную границу помпажа и расширить рабочую область нагнетателя до границы предпомпажной зоны. Преимуществом данного метода является его доступность (не нужно знать никаких конкретных характеристик по типам нагнетателя), независимость от точности измерения dP_k (главное — динамика изменения параметра). Недостатком является то, что, используя только прямой метод, ОП КС при усло-

вии работы ГПА на значительном расстоянии от помпажной зоны не может видеть приближения к ней.

Таким образом, нерешенной на сегодня частью проблемы является создание системы предпомпажного предупреждения (СПП) и определения рабочей точки ГПА, которая бы соединяла преимущества каждого из методов расчета запаса к помпажу.

Система предпомпажного предупреждения

Целью предлагаемой статьи является описание СПП с достаточной для надежной работы ГПА точностью и быстродействием для определения значений рабочей точки ГПА и запаса к помпажу, что обеспечит экономию моторесурса ГПА, позволит избежать внеплановых ремонтов оборудования и позволит эффективно использовать топливный газ.

Установка СПП является дорогим решением, поскольку в основном противопомпажные системы входят в САУ ГПА и устанавливаются с заменой автоматики. Данный процесс является длительным и дорогостоящим. Учитывая выше приведенное, практическая ценность недорогой системы предпомпажного предупреждения является достаточно значительной.

Автономная СПП — единственный способ сберечь от последствий помпажа моторесурс ГПА, на которых нет современной САУ. Этому содействует использование технологии OPC (англ. OLE for Process Control), которая дает возможность одновременного доступа к данным в реальном времени значительного числа клиентов. Логично, что такой режим доступа к данным открывает широкие возможности их научного анализа разными программными пакетами, специалистами по эксплуатации и учеными. Накопление и анализ данных из разных типов ГПА является необходимым условием при создании адаптивных и интеллектуальных СПП.

Разработанная система складывается из первичных измерительных преобразователей, программируемого логического контроллера, блока преобразования интерфейсов и рабочей станции с установленной на ней SCADA-системой и другим программным обеспечением.

В табл. 1 приведены технологические параметры ГПА, необходимые для работы системы, а также технические характеристики каналов измерения и первичные преобразователи. Все приведенные параметры, кроме dP_k , используются системой централизованного контроля и управления (СЦКУ) ГПА

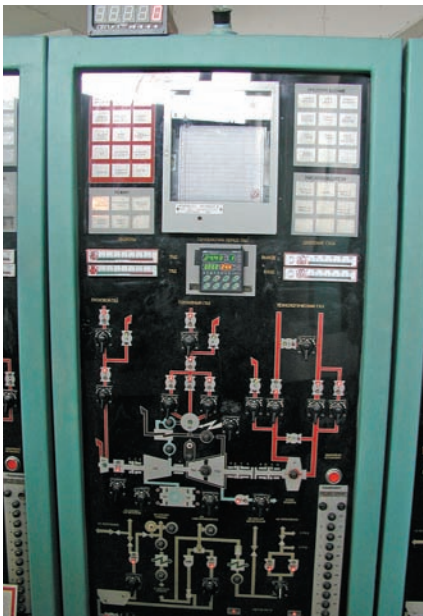


Рис. 1. Оперативная панель СЦКУ ГТК-10 с вмонтированным контроллером МИК-51

(рис. 1), поэтому нет необходимости монтировать дополнительные датчики. Эти данные заведены в программируемый микропроцессорный контроллер МИК-51.

Определение запаса к помпажу непрямым методом

Для определения продуктивности нагнетателя НЗЛ 520-12-1 определяется перепад давлений на всасывающих камерах на участке между входным патрубком нагнетателя и входом в рабочее колесо. Обработка поверхности в конфузоре с допуском 0,1 мм обеспечивает идентичность их изготовления и равенства коэффициентов затрат всасывающих камер всех однотипных нагнетателей. Отверстия для отбора давления перед всасывающей камерой должны размещаться на входном трубопроводе перед патрубком нагнетателя. Объемную продуктивность нагнетателя при условии всасывания определяют по формуле (1):

$$Q_{sc} = A l \sqrt{\frac{dP_k}{\gamma}} \left[\frac{M^3}{xв} \right], \quad (1)$$

где dP_k — перепад давления на всасывающей камере, мм.рт.ст.;

γ — удельный вес газа перед нагнетателем, кг/м³;

A — коэффициент затрат вычисляется по результатам тарирования камеры с помощью затратомерной диаграммы на испытательном стенде (однотипные нагнетатели имеют одинаковые значения коэффициента A). Например, для нагнетателя 520-12-1 параметр $A=128,8$;

l — поправка на сжатие газа в камере, которая вычисляется по результатам тарирования камеры.

Относительная масса газа перед нагнетателем определяется по формуле (2);

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

где R — газовая постоянная.

Формула для вычисления l приведена для величины показателей адиабаты газа $k=1,31$

$$l = 1 - 1,385 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Delta p}{p_{ex}} \cdot (3)$$

Зная объемную производительность нагнетателя, ее можно сравнить с номинальной объемной производительностью нагнетателя при данном режиме работы ГПА. Для этого следует определить степень сжимаемости газа и с помощью номограммы провести вычисление приближенности ГПА к точке помпажа. Для автоматизации расчетов кривые с номограммами (всего 9 кривых) аппроксимированы полиномами 3-го порядка, коэффициенты которых записаны в программу контроллера, и соответствующая кривая интерполируется в реальном времени.

Условие беспомпажной работы выполняется, когда:

$$\frac{Q_{sc}}{Q_{sc\min}} > 1,1 \quad (4)$$

где $Q_{B\min}$ — минимальная продуктивность для данной относительной приведенной частоты вращения ротора ТНТ (по характеристике нагнетателя).

Верхний уровень системы разработан с использованием демонстрационной версии SCADA-пакета Simatic WinCC. Система не имеет сверхсложных элементов управления и потому, имея базовые знания SCADA-систем, ее можно легко реализовать в той же среде, в которой разработан САУ КС или САУ КЦ — этим самым сэкономить значительные средства на покупку SCADA-пакета. Если на объекте нет ни одного SCADA-пакета или есть объективные причины, не позволяющие его модернизировать, можно приобрести недорогую SCADA-систему от производителя контроллера МИК-51. Стоимость оборудования для одного ГПА делает ее доступной на каждой КС.

Такая система предпомпажного предупреждения и определения рабочей точки ГПА ГТК(ГТНР)-10 путем анализа изменения технологических параметров dP_k , $P_{вх}$, $P_{вых}$, $n_{ТНТ}$ разработана и введена в исследовательскую эксплуатацию на КЦ-2 Долинского ЛВУМГ «Прикарпаттрансгаз». На данном этапе вычисления проводятся по непря-

му методу. Сбор данных осуществляется микропроцессорным контроллером МИК-51. При этом анализируется динамика изменения всех входных параметров, что позволяет вести работу над реализацией динамического метода определения запаса к помпажу.

Разработанная система дает возможность определить методом перепада на сужающем конфузоре рабочую точку ГПА и запас к помпажу. Реализованные элементы анализа динамики параметров ГПА, в отличие от статических методов, не имеют жесткой привязки к точности измерения.

Новизна системы состоит в возможности одновременного использования разных методов определения запаса к помпажу, что позволит объединить преимущества описанных систем и компенсировать их недостатки. Внедрение системы не требует масштабных работ и замены существующей системы автоматики, а дополняет ее. Применение программируемого логического контроллера в системе предпомпажного предупреждения позволяет оперативно вносить изменения в логику работы контроллера, что является необходимым условием при ведении исследований, разработки новых методов и усовершенствовании существующих.

Система также является базой с широкими возможностями для проведения дальнейших научных исследований. Планируется исследовать возможность использования искусственных нейросетей и нечеткой логики в предпомпажном регулировании, определении динамики параметров работы ГПА и автоматическом анализе режима работы. Обеспечение широких коммуникационных возможностей системы в реальном времени через промышленные, локальные и глобальные сети связи дает возможность максимально эффективно обрабатывать и анализировать полученные данные в разных средах. ■

ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

- ▶ PLC-контролери
- ▶ PID-регулятори
- ▶ Технологічні індикатори
- ▶ Блоки управління
- ▶ Нормалізатори сигналів
- ▶ Блоки живлення
- ▶ SCADA-системи

УКРАЇНА, 76036, м. Івано-Франківськ
 тел. +38 (0342) 502 701, 502 702,
 +38 (0342) 502 704, 504 410, 504 411
<http://www.microl.ua>