

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СЫРОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Щербинин С.В., Коловертнов Г.Ю., Краснов А.Н., Новоженин А.Ю.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко используются в нефтегазовой промышленности для конденсации и охлаждения парообразных, газообразных и жидких сред. Одной из областей применения АВО является охлаждение природного газа на дожимных компрессорных станциях газовых промыслов (ДКС ГП) и на компрессорных станциях магистральных газопроводов (КС МГ). Необходимость охлаждения газа на данных объектах продиктована требованиями энергосбережения. В процессе сжатия газа его температура увеличивается. Для снижения мощности на транспортировку, увеличения пропускной способности газопровода и повышения его надежности, а в районах Крайнего Севера для предотвращения глубокого оттаивания грунта газ после компрессоров охлаждается в АВО [1].

Существенное отличие условий эксплуатации АВО газа на ДКС ГП и КС МГ заключается в том, что на компрессорные станции магистральных газопроводов поступает уже осушенный газ, в то время как на газовых промыслах на первой ступени компримирования приходится охлаждать сырой газ до осушки. При этом имеет место проблема образования гидратов углеводородных газов на внутренних поверхностях нижних рядов теплообменных трубок АВО газа, приводящая к закупорке проходного сечения трубок и выходу их из строя.

В настоящее время на большинстве ГП Крайнего Севера на ДКС 1-й ступени компримирования применяется способ управления АВО газа, заключающийся в ручном или дистанционном включении-отключении вентиляторов, число которых определяется оператором исходя из его профессионального опыта. Определение факта закупорки теплообменных трубок гидратами производится визуально по наличию инея на трубках. Отогрев «загидраченных» трубок осуществляется при помощи парогенераторной установки. Однако во многих случаях гидратообразования даже указанная процедура неэффективна, и приходится отключать секцию до весны. Недостатки такой системы очевидны.

Повышение надежности и эффективности эксплуатации АВО сырого газа может быть достигнуто путем создания системы автоматизированного управления (САУ), обеспечивающей:

- автоматическое поддержание заданной температуры газа на выходном коллекторе АВО наиболее рациональным способом;
- плавный пуск электродвигателей вентиляторов;
- недопущение гидратообразования в теплообменных трубках АВО.

Применяют следующие способы регулирования АВО газа [2]:

- воздействие на производительность вентиляторов;
- жалюзирование поверхности теплообмена;
- включение-отключение вентиляторов;
- рециркуляция охлаждающего воздуха перед теплообменными секциями АВО газа;
- перепуск части технологического потока по байпасным линиям;

- увлажнение охлаждающего воздуха и поверхности теплообменных секций АВО газа.

Регулирование воздействием на производительность вентиляторов возможно путем изменения частоты вращения электродвигателей вентиляторов и изменения угла поворота лопастей вентиляторов.

Наиболее эффективным и экономичным способом регулирования производительности вентиляторов является плавное изменение их скорости (частоты) вращения, которое достигается применением частотно регулируемого привода. Применение ЧРП вентиляторов позволяет достичь следующих преимуществ по сравнению с традиционными методами [3]:

- уменьшение энергопотребление в среднем на 35%;
- устранение пусковых токов и перегрузок двигателя на период пуска;
- уменьшение механического износа оборудования и снижение затрат на его техническое обслуживание и ремонт благодаря снижению кратности пусковых токов и моментов, снижения скорости расходования ресурса объекта.

В УГНТУ была разработана САУ АВО газа ДКС 1-й ступени ГП №3 ООО «Уренгойгазпром» [4]. (Заявка на изобретение № 2004117656 от 9.06.2004). САУ предназначена для обеспечения точного ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) автоматического поддержания заданной температуры газа в выходном коллекторе АВО за счёт плавного изменения частоты и направления вращения вентиляторов независимо от изменения температуры газа в входном коллекторе АВО и температуры воздуха. При создании САУ АВО газа преследовались следующие цели:

- уменьшение вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- облегчение условий и повышение культуры труда технологического персонала, за счет предоставляемого системой сервиса;
- уменьшение количества выполняемых технологическим персоналом функций за счет их автоматизации;
- повышение информационного обеспечения технологического и эксплуатационного персонала;
- повышение точности измерения и надежности работы самой системы управления за счет применения современных технических устройств на основе электронных и вычислительных средств и наличия самодиагностики;
- уменьшение материальных и энергетических затрат.

Ключевым критерием качества работы САУ АВО газа является стабильность заданных характеристик технологического процесса. В целом, внедрение САУ АВО газа должно обеспечивать достижение главной цели: получение стабильной прибыли за счет повышения информационного обеспечения, точности и надежности технических устройств, уменьшения материальных и энергетических задач.

Структура разработанной САУ АВО газа соответствует магистральномодульному принципу построения с сетевой организацией обмена информацией между устройствами и имеет распределенное программное обеспечение и базу данных. САУ АВО газа имеет трехуровневую структуру – нижний, средний и верхний уровни. Структурная схема САУ АВО газа показана на рис. 1.

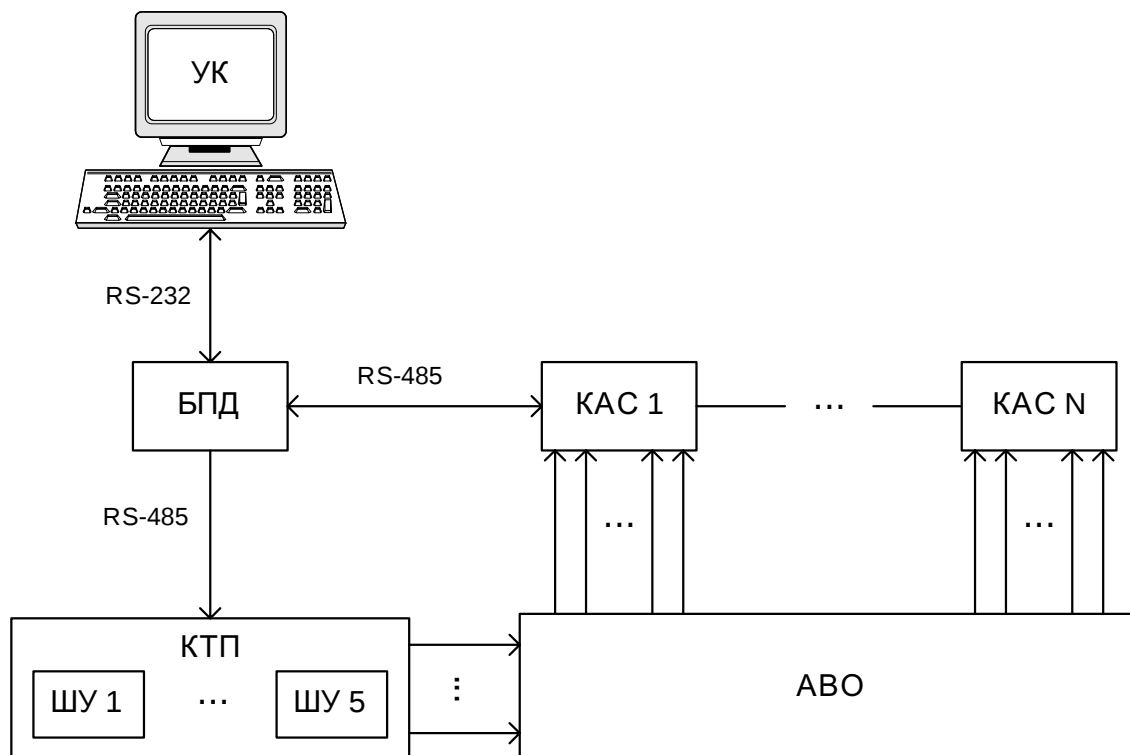


Рис. 1. Структурная схема САУ АВО газа

На рисунке обозначено:

УК – управляющий компьютер;

БПД – блок передачи данных;

КАС 1, ..., КАС N – концентраторы аналоговых сигналов;

АВО – аппарат воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75С;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ШУ 1, ..., ШУ 5 – шкафы управления.

К нижнему уровню системы автоматизации относятся:

- датчики технологических параметров;
- электродвигатели вентиляторов АВО.

К нижнему уровню следует также отнести блок ручного управления, который размещается в комплектной трансформаторной подстанции (КТП) и имеет кнопки управления, воздействующие непосредственно на магнитные пускатели.

К среднему уровню системы автоматизации относятся программно-аппаратные модули (блоки) управления узлов и агрегатов АВО газа на базе концентраторов аналоговых сигналов (КАС), программируемых логических контроллеров (ПЛК) и частотно регулируемых преобразователей (ЧРП).

Концентраторы аналоговых сигналов обеспечивают:

- сбор информации от датчиков температуры, устанавливаемых по месту;
- обработку и передачу информации о состоянии объектов на верхний уровень системы автоматизации АВО газа.

Программируемые логические контроллеры обеспечивают:

- дистанционное и ручное включение/выключение и защиту электроприводов АВО;
- прием информации с верхнего уровня системы автоматизации и формирование управляющих воздействий на электропривод АВО газа;
- обработку и передачу информации о состоянии электроприводов АВО на верхний уровень системы автоматизации.

Частотно регулируемые преобразователи обеспечивают:

- плавный пуск электродвигателей вентиляторов АВО;
- регулирование частоты и направления вращения;
- прием информации с верхнего уровня системы автоматизации и формирование управляющих воздействий на электропривод АВО газа 1-й ступени;
- обработку и передачу информации о состоянии электроприводов АВО на верхний уровень системы автоматизации.

Верхний уровень системы автоматизации АРМ оператора-технолога реализован на базе персонального компьютера.

Верхний уровень системы автоматизации обеспечивает:

- прием информации о состоянии объекта;
- мониторинг технологического процесса и получение трендов измеряемых технологических параметров;
- оперативное и автоматизированное управление технологическим процессом;
- архивацию событий нижнего уровня и действий оператора;
- формирование базы данных.

На принтер АРМ оператора-технолога выводиться информация:

- таблицы, отображаемые на видеомониторе;
- периодические отчеты о работе АВО газа 1-ступени;
- перечни аварийных ситуаций за сутки, неделю, месяц;
- перечни неисправностей с указанием времени их возникновения;
- иная информация, формируемая АРМ оператора-технолога.

Выполнение инженерных функций реализуется на АРМ оператора-технолога.

Программно-аппаратный комплекс САУ АВО газа строится на базе ПК с включением дополнительного оборудования, обеспечивающего выполнение заданных функций. В качестве операторского интерфейса используется программный пакет Trace Mode 5.x фирмы AdAstra. Функциональные возможности пакета включают конфигурирование, операторское управление, сбор и архивирование данных и событий, а также диагностику.

Программирование ПЛК GE Fanuc Versa Max IC200DR010 производится с помощью инструментального пакета VersaPro, обеспечивающего программирование на языках LD и IL в стандарте IEC1131-3.

Концентратор аналоговых сигналов имеет встроенное программное обеспечение и в программировании не нуждается.

Настройка преобразователя частоты производится с помощью встроенного пульта настройки.

Структурная схема САУ представлена сетью RS-485 по протоколу Modbus (витая пара). Информационная связь верхнего и среднего уровня реализуется с помощью магистрали RS-485 протокол Modbus на базе кабеля типа «витая пара». Каналообразующими средствами являются преобразователь ADAM-4521 (RS-232/485) и встроенные последовательные порты RS-485 контроллеров GE Fanuc, концентраторов аналоговых сигналов и преобразователей частоты.

САУ АВО газа функционально состоит из трёх основных частей:

1. Шкафов управления (ШУ);
2. Системы многоточечного контроля температур (СКТ);
3. Управляющего компьютера (УК) – пульта с установленной на нём управляющей программой (УП).

Кроме перечисленного в состав САУ может входить система контроля уровня вибрации двигателя, контролирующая состояние подшипников и сигнализирующая о задевании диффузоров лопастями вентиляторов, а так же система контроля давлений и перепада давлений, на входе-выходе АВО сигнализирующая о резком падении давления (в случае порыва труб или остановки компрессоров).

На рис. 2 показана структурная схема каждого из ШУ.

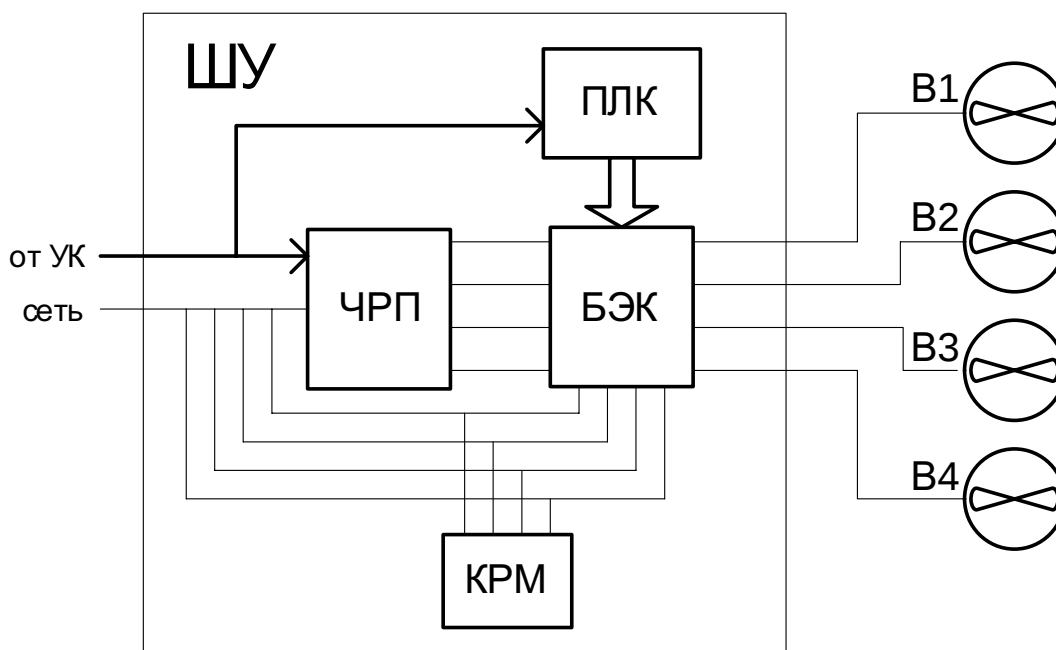


Рис. 2. Структурная схема шкафа управления

На рисунке обозначено:

ЧРП – частотно регулируемый привод;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

БЭК – блок электромагнитных контакторов;

КРМ – компенсаторы реактивной мощности;

B1, ..., B4 – вентиляторы.

Каждый из пяти ШУ служит для питания и управления работой четырёх электродвигателей вентиляторов в автоматическом или ручном режимах, осуществляя при этом:

- управление частотой и направлением вращения одного из четырёх вентиляторов (любого по выбору УП или оператора);
- плавный запуск (последовательно) вентиляторов с последующим переводом на сеть.

ШУ содержат следующие силовые и логические элементы управления:

- частотно регулируемый привод SIEI ARTDrive Avy5550, служащий для управления частотой и направлением вращения выбранного электродвигателя;
- программируемый логический контроллер VersaMax Micro IC200UDR010 с модулем расширения VersaMax 1C200EUX012, служащий для управления работой блока электромагнитных контакторов (через блок реле);
- блок электромагнитных контакторов (12 шт.) служащий для подключения выбранного вентилятора к выходу ЧРП, подключения выбранного вентилятора к сети, подключения компенсаторов реактивной мощности (при работе вентиляторов напрямую от сети);
- конденсаторные батареи KPM (4 шт.) для компенсации реактивной мощности электродвигателей работающих напрямую от сети;
- элементы ручного управления (кнопки, тумблеры, индикаторы и т.д.) расположенные на лицевой панели шкафа, при помощи которых можно выбирать режимы работы шкафа.

СКТ состоит из следующих элементов:

- датчики температуры (2-5 датчика на секцию);
- концентраторы аналоговых сигналов;
- блок передачи данных.

Температурные датчики устанавливаются на выходных участках нижнего ряда теплообменных трубок каждой секции АВО газа, на выходном коллекторе каждой секции, а также на входном и выходном коллекторах АВО 1-й ступени. Также один или несколько датчиков измеряют температуру окружающего воздуха. Данные о температуре через КАС поступают в операторную на УК с установленным на него ПО для работы с САУ АВО газа. ПО производит обработку полученных данных и посылает соответствующие управляющие сигналы в КТП.

В качестве термодатчиков использованы платиновые сенсоры с большим температурным диапазоном от - 70 до +600 °С, коротким временем снятия данных, температурным коэффициент 0,00385 К, классом допуска  $D = \pm 0,6\%$  и сопротивлением 1000 Ом при 0 °С. Датчики помещены в металлические гильзы, специально разработанные для крепления их между алюминиевыми ребрами теплообменных трубок.

Концентраторы аналоговых сигналов имеют одинаковую структуру и включают модули ввода сигналов термометров сопротивления ADAM-4015 производства фирмы Advantech. Встроенный микропроцессор, входящий в состав каждого модуля, обеспечивает независимое от управляющей вычислительной системы выполнение функций гальванически изолированного ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов с последующей нормализацией, фильтрацией, преобразованием в форму, пригодную для передачи по последовательному каналу

связи, а также обеспечивает информационный обмен с БПД передачи данных на базе интерфейса RS-485.

БПД содержит модуль ADAM-4521 производства фирмы Advantech, который является интеллектуальным преобразователем интерфейса RS-422/485 в RS-232 и предназначен для включения в многоточечную сеть на базе RS-485 устройств с интерфейсом RS-232. Преобразователь ADAM-4521 имеет в своем составе микропроцессор, который выполняет обработку данных перед обменом по каналу RS-232C. Другая функция микропроцессора состоит в управлении двумя асинхронными приемопередатчиками и настройке коммуникационных параметров портов RS-232C и RS-485. Таким образом, имеется возможность одновременного использования разных скоростей обмена по каналам связи RS-232C и RS-485. Кроме того, для реализации асинхронного обмена информацией между обслуживаемым устройством и ведущим узлом сети микропроцессор выполняет идентификацию адреса в запросе, поступающем по сети RS-485 [5].

СКТ служит для контроля температур стенок трубок АВО и температур газа по рядам трубок, по которым УП определяет степень загидраченности трубок. СКТ так же фиксирует температуру газа на входном и выходном коллекторах АВО, температуру газа на выходе каждой секции АВО, а так же температуру воздуха.

УК и УП служат для управления работой системы, визуализации и сохранения информации.

УК – компьютер устанавливается в операторской и связывается с СКТ и ШУ сигнальным кабелем.

УП, установленная на УК, осуществляет автоматическое управление работой вентиляторов, жёстко обеспечивая заданную температуру газа на выходном коллекторе АВО ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) и предотвращая при этом гидратообразование в теплообменных трубках АВО, а так же другие аварийные ситуации. При этом обслуживающий систему оператор имеет широкие возможности по программированию работы системы исходя из своего опыта эксплуатации АВО.

УП визуально представляет информацию о работе системы, документируя (сохраняя) с заданной периодичностью температуру газа на входе-выходе АВО, температуру воздуха, информацию о нештатных ситуациях, а так же рассчитывает моторесурс всех электродвигателей и количество пусков.

УП так же позволяет оператору вручную по своему усмотрению с экрана УК управлять работой выбранных вентиляторов.

Рассмотрим режимы работы САУ АВО газа.

**1. Режим дистанционного управления.** Данный режим подразумевает ручное управление, осуществляемое оператором с УК, расположенного в операторной. При работе в данном режиме ШУ, управляемый дистанционно, может осуществлять управление одним из четырёх вентиляторов, выбранным оператором. Происходит это следующим образом: выбранный вентилятор через соответствующий контактор группы К1 подключается к выходу ЧРП, посредством которого и осуществляется управление частотой и направлением вращения вентилятора.

Кроме того ЧРП может осуществлять плавный разгон выбранного вентилятора и перевод его на сеть, при этом после разгона вентилятора ЧРП размыкается соответствующий контактор группы К1, и замыкается соответствующий контактор группы К2, подключая вентилятор к сети.

Одновременно с ним срабатывает один из контакторов группы КЗ, подключая параллельно двигателю КРМ.

Для предотвращения случайного, одновременного срабатывания контакторов группы К1 с соответствующими контакторами групп К2 и КЗ, что могло бы привести к повреждению элементов ШУ, предусмотрены блок контакты, предотвращающие подобную нежелательную ситуацию.

Дистанционное управление контакторами осуществляется посредством контроллера (и блока расширения), который, через блок реле подаёт управляющий сигнал на соответствующий контактор.

**2. Режим местного (ручного) управления.** Данный режим подразумевает ручное управление вентиляторами непосредственно от ШУ, расположенных в КТП. Кроме того, в этом режиме возможен прямой пуск вентиляторов от кнопок расположенных под секциями АВО.

Режим местного (ручного) управления позволяет управлять работой АВО «классическим способом» при выходе из строя каких-либо элементов логического управления.

**3. Режим автоматического управления.** Данный режим подразумевает автоматическое управление вентиляторами, осуществляемое управляющей программой. Рассмотрим алгоритм работы САУ АВО газа в автоматическом режиме.

При пуске того или иного вентилятора ПЛК подключает электродвигатель данного вентилятора к сети посредством БЭК через ЧРП. После того, как электродвигатель разогнался до требуемой частоты, ПЛК посредством БЭК подключает его к трехфазной сети напрямую. При этом параллельно к электродвигателю вентилятора подключается КРМ (конденсатор большой емкости). Если от УК поступает сигнал о том, что температура стенки трубки превысила верхний предел допустимого диапазона, ПЛК посредством БЭК подключает необходимый вентилятор к ЧРП, который увеличивает частоту вращения электродвигателя. При поступлении сигнала о том, что температура стенки трубки оказалась меньше нижнего предельного значения допустимого диапазона, ПЛК посредством БЭК подключает необходимый вентилятор к ЧРП, который уменьшает частоту вращения вентилятора. После достижения требуемой частоты вентилятор отключается от ЧРП и переводится на сеть. Если от УК поступает сигнал о приближении температуры стенки теплообменных трубок той или иной секции к температуре окружающего воздуха (это означает, что в трубках началось гидратообразование, и газ по ним не поступает), ПЛК посредством БЭК отключает необходимый вентилятор от сети, подключает его к ЧРП, который, после того, как электродвигатель остановится, запускает его в обратном направлении (реверс). Так как гидратообразование начинается с нижних рядов теплообменных трубок, то данная процедура позволяет «разморозить» нижние ряды потоком теплого воздуха от верхних рядов, по которым все еще проходит теплоноситель.

В летнее время, когда проблема гидратообразования не актуальна, необходимость в частотном регулировании отпадает, и САУ АВО газа работает только в режиме включения/отключения необходимого количества вентиляторов по сигналам от УК. ЧРП в данном режиме служит для последовательного плавного пуска соответствующих вентиляторов.

Рассмотрим основные преимущества САУ АВО газа.

1. САУ АВО газа автоматически предотвращает гидратообразование в теплообменных трубках АВО, следовательно:

- нет аварийных ситуаций, связанных с замерзанием трубок;
- не нужно вызывать парогенераторную установку для отогревания загидраченных секций;
- не нужно дважды в год менять угол атаки лопастей вентиляторов.

2. САУ АВО газа обеспечивает плавный пуск вентиляторов, снижающий пусковые токи и позволяющий:

- увеличить срок службы двигателей;
- избежать бросков напряжений;
- осуществлять быстрый запуск вентиляторов от резервного дизеля.

3. САУ АВО газа максимально упрощает работу персонала, т.к.:

- нет необходимости следить за состоянием секций и принимать решения о пуске-останове вентиляторов;
- система сама документирует все необходимые параметры;
- сокращается время на ремонт и замену вышедших из строя частей системы управления, т.к. элементы САУ изготовлены на много более высоком качественном уровне и при проектировании САУ учтены недостатки существующей системы управления.

По сравнению с прочими предлагаемыми системами, предполагающими установку дорогостоящих частотно регулируемых приводов на каждый электродвигатель, разработанная САУ отличается меньшей ценой т.к. подразумевает установку одного привода на четыре вентилятора. Такое соотношение ЧРП и вентиляторов принято, исходя из того, что при температурах воздуха, при которых возможно гидратообразование, в работе обычно находятся не более 5 вентиляторов из 20 (количество вентиляторов на ГП №3).

Соответственно вентиляторы группируются по четыре на один шкаф управления. Контактная схема шкафа, управляемая программируемым логическим контроллером, позволяет делать управляемым любой из четырёх вентиляторов, а так же использовать ЧРП в качестве устройства плавного пуска для всех четырёх вентиляторов, переводя их на сеть после запуска (с параллельным подключением КРМ).

Кроме того, САУ АВО газа отличается высокой надежностью, так как даже в случае выхода из строя элементов логического управления возможно дистанционное и местное (ручное) управление электродвигателями вентиляторов.

Таким образом, САУ АВО газа обеспечивает высокую эффективность работы аппаратов в течение всего года. В результате снижаются затраты на электроэнергию, являющиеся самой существенной статьёй эксплуатационных расходов аппаратов воздушного охлаждения газа; снижаются затраты на ремонт аппаратов благодаря недопущению разрыва теплообменных трубок в результате закупорки проходного сечения гидратами углеводородных газов; снижаются капитальные вложения благодаря оригинальной схеме управления одним контроллером и одним приводом группой электродвигателей вентиляторов.

## Список литературы:

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. Справочник. Под общей редакцией Кунтыша В.Б. и Бессонного А.Н. СПб: Недра, 1996. – 512 с.
2. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. – М.: Химия, 1983. – 168 с.
3. Иванов О.П., Мамченко В.О.. Аэродинамика и вентиляторы. Л.: Машиностроение, 1986г. – 280 с.
4. Отчет о выполнении работ по автоматизации АВО газа ДКС 1-й ступени ГП № 3 ООО «Уренгойгазпром». – 33 с.
5. Каталог продукции Advantech. Prosoft, 2001.