

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА
ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ
НА УРЕНГОЙСКОМ ГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**



**AUTOMATION OF THE GAS PUMPING UNIT
OF THE BOOST COMPRESSOR STATION
ON THE URENGOYSKOYE GAS AND CONDENSATE FIELD**

Кусов Геннадий Владимирович

аспирант,
Северо-Кавказский
федеральный университет
de_france@mail.ru

Аннотация. Газоперекачивающий агрегат является компрессором, приводимым в движение газовой турбиной. Компрессор как объект автоматического управления относится к классу потенциально опасных объектов, который характеризуется чётко выраженными нелинейными рабочими характеристиками и лавинообразным нарастанием аварийных процессов. Наличие аварийных режимов для этого класса объектов заложено в самом принципе работы. Для своевременного вмешательства в работу газоперекачивающего агрегата, для проведения управляющих, регулирующих воздействий на объект в случае выхода за рабочие пределы технологических параметров было произведено внедрение системы автоматизации на базе программно-технических средств «Series-4». В статье решается задача внедрения многозадачной системы контроля и управления «Series-4» на газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16, написание управляющей программы технологическим процессом на языке стандарта IEC 61131-3. Показано, что автоматизированная система управления на базе «Series-4» даёт возможность наиболее точно отслеживать все технологические процессы. Рассмотренный объём автоматизации с применением технических средств автоматизации обеспечивает надёжный контроль, управление и аварийную защиту ГПА-Ц-16.

Ключевые слова: описание, состав технологического процесса и схемы ГПА-Ц-16; технологическая схема работы ГПА-Ц-16; система автоматизации ГПА-Ц-16 на базе программно-технических средств «Series-4»; описание преобразователей нижнего уровня ГПА; многозадачная система контроля и управления «Series-4»; устройство связи с объектом; инструментальная система программирования промышленных контроллеров.

Kusov Gennady Vladimirovich

Graduate student,
North-Caucasian Federal University
de_france@mail.ru

Annotation. The gas compressor unit is a compressor driven by a gas turbine. The compressor as an object of automatic control belongs to the class of potentially hazardous objects, which is characterized by clearly expressed nonlinear performance characteristics and an avalanche-like increase in emergency processes. The presence of emergency modes for this class of objects is inherent in the very principle of operation. For timely intervention in the operation of the gas pumping unit, for carrying out control, regulating actions on the facility in case of exceeding the operating limits of technological parameters, an automation system based on the «Series-4» software and hardware was introduced. The article solves the problem of introducing a multi-tasking monitoring and control system «Series-4» on the gas compressor unit gas pumping unit-Ts-16, writing a control program for a technological process in the language of the IEC 61131-3 standard. It is shown that the automated control system based on «Series-4» makes it possible to most accurately monitor all technological processes. The considered volume of automation with the use of technical means of automation provides reliable control, management and emergency protection of the gas pumping unit-Ts-16.

Keywords: description, composition of the technological process and the scheme of gas pumping unit-Ts-16; flow chart of gas pumping unit-Ts-16 operation; automation system gas pumping unit-Ts-16 based on «Series-4» software and hardware; description of gas pumping unit lower level converters; multi-tasking control and management system «Series-4»; communication device with the object; industrial controllers programming tool system.

Описание, состав технологического процесса и схемы ГПА-Ц-16

Состав ГПА-Ц-16

Газоперекачивающий агрегат (ГПА) предназначен для транспортирования природного газа по магистральным газопроводам при рабочем давлении 5,5-7,4 МПа.

Агрегат состоит из отдельных функционально завершённых блоков и сборочных единиц полной заводской готовности, стыкуемых между собой на месте эксплуатации.

Газоперекачивающий агрегат представлен на рисунке 1.

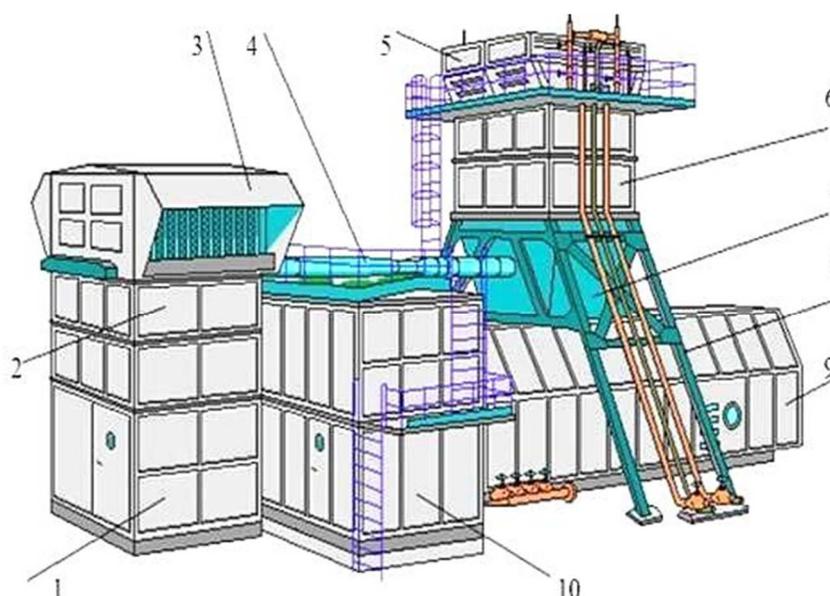


Рисунок 1 – Газоперекачивающий агрегат:

- 1 – камера всасывания; 2 – всасывающие шумоглушители; 3 – воздухоочистительное устройство; 4 – система подогрева циклового воздуха; 5 – утилизатор; 6 – шумоглушители выхлопа; 7 – диффузор; 8 – опора выхлопной части; 9 – турбоблок; 10 – блок маслоагрегатов

Турбоблок включает в себя следующие сборочные единицы: контейнер, приводной двигатель НК-16СТ, установленный на подмоторной раме. Кроме того, в турбоблоке размещены отдельные сборочные единицы маслосистемы, системы обогрева, автоматического пожаротушения, обогрева циклового воздуха и автоматического управления агрегатом. Контейнер турбоблока является помещением для размещения основных сборочных единиц и систем агрегата. Обеспечивает определённый микроклимат для их эксплуатации и необходимые условия труда для обслуживающего персонала в период проведения ремонтных и регламентных работ. Контейнер при помощи герметичной перегородки разделён на два изолированных помещения отсек двигателя и отсек нагнетателя. Вентиляция отсека двигателя осуществляется вентиляторами, установленными в блоке вентиляции. Вентиляция отсека нагнетателя осуществляется вентилятором, установленным в верхней части этого отсека.

Воздухоочистительное устройство (ВОУ) предназначено для очистки от пыли и других механических включений циклового воздуха, поступающего из атмосферы в компрессор двигателя. ВОУ состоит из камеры, фильтрующих элементов, короба отсоса пыли, вентиляторов отсоса пыли, байпасных клапанов и решеток для подогрева циклового воздуха. Очистка воздуха производится в инерционно-жалюзийных сепараторах за счёт резкого поворота потока в фильтрующих элементах. На задней стенке камеры размещены два байпасных клапана (БК). БК открываются автоматически при достижении разрежения в камере ВОУ 80 мм вод. ст. При снижении разрежения до 50 мм вод. ст. клапаны закрываются.

Камера всасывания служит для направления очищенного в ВОУ атмосферного воздуха к осевому компрессору двигателя. В проёмы каркаса камеры установлен шумоглушитель, представляющий собой специальные щиты, заполненные теплоизоляционными звукопоглощающими матами из супертонкого базальтового волокна. В центральном проёме стенки установлены двустворчатые ворота, а на задней стенке – одностворчатые. Ворота служат для закатки и выкатки двигателя при его замене.

Блок промежуточный предназначен для формирования равномерного потока воздуха непосредственно перед входным направляющим аппаратом осевого компрессора двигателя. Блок состоит из каркаса и патрубка круглого сечения, выполненного из листовой нержавеющей стали.

Выхлопное устройство с шумоглушением служит для выброса выхлопных газов и снижения шума выхлопа двигателя. Устройство состоит из диффузора, проставки и

шумоглушителя. Диффузор предназначен для плавного снижения скорости выхлопных газов и представляет собой цельносварную конструкцию, состоящую из каркаса, внутренние проёмы которого заполнены звукопоглощающим материалом. Шумоглушитель пластинчато-щелевого типа. Пластины имеют обтекаемую форму. Сварной каркас пластины выполнен из гнутых профилей и обшит с двух сторон перфорированным стальным листом. Пространство между листами заполнено звукопоглощающим материалом.

Блок маслоохладителей предназначен для охлаждения масла, циркулирующего в системах смазки и уплотнения агрегата. Компоновка ГПА предусматривает установку двух блоков, в каждом из которых установлено по два аппарата воздушного охлаждения масла.

Блок вентиляции предназначен для размещения оборудования, обеспечивающего вентиляцию отсека двигателя и просос атмосферного воздуха через маслоохладители при отсутствии электроэнергии. Блок вентиляции включает в себя каркас, вентиляторы, патрубок и заслонки с гидроприводом. Центробежные вентиляторы подают очищенный воздух, отбираемый из отсека шумоглушителя ВОУ. Поворотные заслонки, предназначенные для открытия прохода, соединяющего блок вентиляции с всасывающим трактом двигателя, при этом закрыты. При отключении вентиляторов вентиляция отсека двигателя осуществляется за счёт прососа воздуха из турбоблока через открытые заслонки, остановленные вентиляторы и далее на всас двигателя. Управление заслонками производится при помощи гидропривода.

Блок маслоагрегатов предназначен для размещения маслоагрегатов и арматуры маслосистемы, что позволяет производить их обслуживание при работе ГПА. Для вентиляции блока в нём предусмотрен вентилятор.

Блок фильтров топливного газа предназначен для очистки газа от возможных загрязнений в трубопроводах между стационарным блоком подготовки топливного и пускового газа и входным в камеру сгорания двигателя. В блоке установлено два фильтра, обвязка которых позволяет включать в работу фильтры поочередно или оба одновременно. Степень фильтрации 10 мкм.

Блок пожаротушения служит для размещения установки автоматического газового пожаротушения. Автоматическая система пожаротушения обеспечивает противопожарную защиту отсеков двигателя и нагнетателя за счёт своевременного обнаружения очага возгорания и последующего подавления его путём автоматической подачи огнегасящего вещества хладона 114В2.

Система обогрева предназначена для разогрева агрегата в холодное время года перед пуском и для обеспечения нормальных климатических условий при работе приборов и оборудования, установленных в отсеках контейнера. Обогрев осуществляется горячим воздухом, отбираемым от работающего двигателя за компрессором высокого давления (температура 280 °С). Отбираемый горячий воздух поступает в стационарную систему обогрева, которая объединяет в единую сеть системы обогрева всех агрегатов, установленных на компрессорной станции. Обогрев ГПА при отсутствии в стационарной сети горячего воздуха осуществляется от моторных подогревателей типа УМП-350.

Система подогрева циклового воздуха предназначена для предотвращения обледенения всасывающего тракта двигателя в диапазоне температур атмосферного воздуха от +7 до –10 °С. Подогрев циклового воздуха осуществляется подачей на вход воздухоочистительного устройства горячих газов из выхлопной шахты агрегата. Газы эжектируются сжатым воздухом, отбираемым из компрессора низкого давления двигателя. Горячая газозвушная смесь направляется на распределительную решётку, установленную на входе в ВОУ. На таблице 1 приведены технические характеристики двигателя НК-16 СТ.

Таблица 1 – Технические характеристики двигателя НК-16 СТ

Наименование показателей	Величины
1	2
Максимальная мощность, кВт	16000
Эффективный КПД двигателя в режиме максимальной мощности, %	29

Окончание таблицы 1

Максимальная мощность на выходном валу СТ, кВт	19200
Рабочий диапазон изменения частоты вращения приводного вала СТ на режиме максимальной мощности:	
максимальная частота, об./мин., не более	5300
минимальная частота, об./мин., не менее	3975
Температура газов перед СТ, не более:	
на режиме максимальной мощности, °С	630
при запуске, °С	500
Температура наружных поверхностей двигателя, °С	200
Уровень вибрации двигателя, мм/сек	40

На таблице 2 приведены технические характеристики нагнетателя НЦ-16.

Таблица 2 – Технические характеристики нагнетателя НЦ-16

Наименование показателей	Величины
Производительность, приведённая к температуре газа 20 °С и давлению 0,101 МПа, м ³ /час	384,82
Производительность, приведённая к температуре газа 15 °С и давлению 0,101 МПа, м ³ /час	378,25
Давление начальное номинальное, МПа	5,17
Давление конечное номинальное, МПа	7,45
Степень сжатия	1,37–1,44
Политропный КПД, %, не менее	83
Температура газа на всасывание, °С	15
Расчётное повышение температуры газа в нагнетателе при номинальном режиме, °С	31
Обороты ротора нагнетателя и силовой турбины, об./мин.	3750–5300

Технологическая схема работы ГПА-Ц-16

В состав газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16 входят: приводной газотурбинный двигатель ДГ90Л2, общая рама ГПА со вспомогательными агрегатами, механизмами, устройствами и коммуникациями, газоотвод с теплоизолирующим кожухом, трансмиссия, нагнетатель природного газа НЦ-16; комплект приборов и узлов, поставляемых совместно с агрегатом, комплект запасного инвентаря и принадлежностей (ЗИП) одиночный, комплект ЗИП групповой.

Очищенный природный газ из установки очистки по газопроводу Г-1000 через всасывающий патрубок поступает в центробежный нагнетатель, где происходит его сжатие и подача через нагнетательный патрубок в коллектор.

В качестве привода нагнетателя используется стационарный газотурбинный двигатель НК16-СТ, созданный на базе авиационного турбовентиляторного двигателя НК-8-2У, работающий на перекачиваемом газе, в котором свободная энергия преобразуется в мощность на выводном валу с помощью турбины нагнетателя.

Очищенный в воздухоочистительном устройстве атмосферный воздух поступает в компрессор двигателя, где сжимается и поступает в камеру сгорания. Одновременно через рабочие форсунки в камеру сгорания подается топливный газ. Из камеры сгорания газы направляются на лопатки турбины высокого давления (ТВД) и турбины низкого давления (ТНД). Механическая связь между турбиной и ротором нагнетателя осуществляется через промежуточный вал. Отработанные газы через газоотвод, пройдя утилизатор тепла и шумоглушитель, выбрасываются в атмосферу.

В обвязке каждого агрегата всасывающий трубопровод оборудован краном с гидроневмоприводом 1 для приёма газа в нагнетатель и байпасным краном 4 для заполнения контура нагнетателя перед его пуском, а также для опрессовки нагнетателя.

Нагнетательный трубопровод оборудован:

- краном 2 с гидropневмоприводом для выхода газа из нагнетателя и обратным клапаном в магистрали Г-700;
- линией сброса газа на свечу с кранов 5, 5А перед краном 2, предназначенным для продувки контура нагнетания перед пуском ГПА или сброса газа на свечу при любых остановках агрегата, а также опрессовках;
- пусковым трубопроводом подачи газа в пусковой контур с краном и обратным клапаном 6 в агрегатной линии рециркуляции газа Г-400, краном регулятором 6А «Mokveld».

На линии подачи топливного газа установлены:

- топливный клапан «Аmot»;
- стопорный клапан;
- кран 12 дистанционного управления;
- штуцер с линией сброса газа на свечу с пневмокраном 9.

Схема обвязки ГПА-Ц-16 обеспечивает независимый вывод агрегатов на режим «Кольцо» по пусковому контуру, антипомпажную защиту каждого агрегата обеспечивает кран 6А «Mokveld» системы управления и противопомпажного регулирования фирмы «ССС». Вывод агрегата на режим «Магистраль» происходит при открытии крана 2 и закрытии крана 6.

При остановке агрегата происходит закрытие кранов 1, 2, 4 обвязки ГПА, а также закрытие крана 12 и открытие крана 9 топливного трубопровода двигателя. После получения сигнала «АО со стравливанием» через открытие свечного крана 5 опрессовка нагнетателя выполняется через краны 4, 4р при плавном наборе давления и последующем сбросе газа на свечу через кран 5. Пуск станции осуществляется после вытеснения воздуха и набора рабочего давления. Пуск одного агрегата на режиме «Кольцо» осуществляется при открытых кранах 1, 2, 6, и 6А «Mokveld». После вывода агрегата на режим «Кольцо», прикрывается кран 6А «Mokveld», агрегат начинает работать в режиме «Магистраль».

Функции управления, защиты и автоматизации ГПА выполняет система агрегатной автоматики микропроцессорная система контроля и управления (МСКУ) 4510СГ, поставляемая комплектно с агрегатом. Система управления и противопомпажного регулирования фирмы «ССС», выполненная на базе программно-технических средств (ПТС) «Series-4», осуществляет пуск и остановку ГПА, автоматическую защиту, контроль технологических параметров, сигнализацию неисправностей и выдачу информации на центральный диспетчерский пункт (ЦДП). Программное обеспечение обладает следующими свойствами: функциональная достаточность, надёжность, адаптируемость, модифицируемость, модульность построения и удобство эксплуатации.

Конструктивно комплекс МСКУ 4510СГ агрегатного уровня размещается в специальном приборном блок-боксе, с искусственным микроклиматом, расположенным в непосредственной близости от укрытия агрегата.

Функциональные блоки цехового комплекса (локальные интеллектуальные системы (ЛИС)), в целях сокращения количества кабелей, размещаются в щитовой установки подготовки топливного и импульсного газов, щитовой установки очистки газа, щитовой комплектной трансформаторной подстанции (КТП) АВО газа.

В щитовых и аппаратной устанавливаются стойки ЛИС с размещёнными в них модулями, источниками питания и клеммными колодками для подвода соединительного кабеля. В операторной расположен пульт оператора, предназначенный как для индивидуального управления ГПА, так и группового управления совокупностью газоперекачивающих агрегатов, входящих в состав цеха, и общецеховым оборудованием.

В контейнерах ГПА-Ц-16 заводом предусмотрено углекислотное пожаротушение, а также контроль взрывоопасной концентрации на СН₄.

Перед пуском агрегатов в эксплуатацию определяется рабочий режим (рабочая точка) в зависимости от выбранной производительности и приведенных оборотов, при этом потребляемая нагнетателем мощность не должна превышать номинальную более чем на 20 %, т.е. не более 19000 кВт, при температуре наружного воздуха выше минус 5 °С.

Для избежания попадания нагнетателя в зону неустойчивой работы рабочая точка должна лежать правее помпажной линии не менее чем на 10 %. Это объясняется тем, что при уменьшении расхода газа до приблизительно 60 % от расчётного из-за не сплошного течения в межлопаточных каналах, вызванного срывом потока на входе в рабочее колесо, и возрастанием влияния обратной закрутки в пределах каждого канала, рабочее колесо уже не может создать давление больше давления в диффузоре и напорной полости. Возникает течение в обратном направлении, что вызывает шум и сильные вибрации нагнетателя и его обвязки, увеличение оборотов, обратная раскрутка ротора при неисправности обратного клапана.

Причинами помпажа нагнетателя, кроме снижения расхода, могут быть:

- увеличение давления на выходе нагнетателя;
- пониженная частота вращения по отношению к параллельно работающим агрегатам;
- колебания давления в сети;
- неправильная или несвоевременная перестановка кранов в системе обвязки нагнетателя;
- попадание постороннего тела на защитную сетку или входной направляющий аппарат.

Главная опасность помпажных колебаний для ГПА большая вероятность повреждения упорного подшипника, возможность разрушения покрывающего диска рабочего колеса, сильные задевания и разработка зазоров в лабиринтных уплотнениях.

Защиту от помпажа каждого агрегата выполняют краны регуляторы 6А «Mokveld» на линии Г-400 по обвязке агрегатов ГПА-Ц-16.

Система автоматизации ГПА-Ц-16 на базе программно-технических средств «Series-4»

Комплекс «Series-4» в составе САУ и Р ГПА обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление ГПА и его вспомогательными механизмами и устройствами на всех режимах работы;
- автоматическое регулирование параметров двигателя и нагнетателя, включая предельное регулирование ограничиваемых параметров;
- непрерывный контроль, индикацию и регистрацию технологических параметров с представлением необходимой информации оператору.

Основные функции выполняемые САУ и Р ГПА-Ц-16

Функции логического управления:

- снятие запретов на срабатывание защит на остановленном агрегате с целью проверки и сдачи защит перед пуском ГПА;
- автоматическая проверка пусковой готовности;
- автоматическая защита ГПА по технологическим параметрам;
- автоматический пуск ГПА по заданному алгоритму с выводом на режимы «Кольцо» или «Магистраль»;
- автоматический пуск ГПА с заполненным контуром нагнетателя (после аварийного останова без стравливания газа) также с выводом на режимы «Кольцо» или «Магистраль»;
- автоматический ввод в режим «Магистраль» из режима «Кольцо» и автоматический вывод ГПА из режима «Магистраль» на режим «Кольцо»;
- управление режимом работы ГПА, задаваемым оператором, или в соответствии с командами, приходящими из САУ и Р верхнего уровня;
- автоматический нормальный останов (НО) по заданному алгоритму;
- автоматический аварийный останов (АО) со стравливанием и без стравливания газа по сигналам каналов защиты либо по команде оператора;
- экстренный аварийный останов ГПА по заданному алгоритму при отказе САУ и Р;

- автоматический перезапуск с интервалом 3 с вспомогательных механизмов после кратковременного (1–5 с) пропадания напряжения 380 В частотой 50 Гц;
- дистанционное управление исполнительными механизмами и вспомогательным оборудованием на работающем или неработающем агрегате;
- автоматическая перестановка в исходное положение кранов газовой обвязки перед пуском ГПА, после выбора режима работы;
- запрет выполнения команд оператора при работе агрегата в автоматическом режиме, если они не предусмотрены алгоритмами управления или регулирования;
- управление утилизатором тепла;
- управление исполнительными механизмами системы пожаротушения.

Функции регулирования:

- регулирования двигателя;
- регулирование (стабилизация) частоты вращения силовой турбины в соответствии с заданием, получаемым от оператора или заданием, получаемым от регулятора распределения нагрузки;
 - автоматическое предельное регулирование (ограничение) по следующим параметрам: температуре продуктов сгорания по верхнему задаваемому пределу;
 - частоте вращения вала турбокомпрессора высокого давления, давления воздуха за КВД по верхнему задаваемому пределу, приёмистости двигателя;
 - формирование выходного сигнала управления регулирующим топливным клапаном по минимальному из сигналов, сформированных контурами регулирования;
 - функции антипомпажного регулирования;
 - реализация функций антипомпажного регулирования и защиты нагнетателей должна обеспечивать расстояние между рабочей точкой нагнетателя и линией помпажа не менее заранее заданного и автоматически изменяющегося в зависимости от скорости приближения рабочей точки к линии помпажа;
 - функции распределения нагрузки между ГПА (при работе нескольких ГПА в составе КЦ);
 - участие в реализации функции распределения нагрузки при параллельной работе ГПА в общем, газопроводе;
 - стратегия выживания;
 - автоматический переход на резервный канал при потере сигнала от резервированных датчиков (частота вращения турбины нагнетателя);
 - автоматический переход на специальные алгоритмы «Стратегии выживания», позволяющие обеспечить безопасность эксплуатации ГПА при исчезновении одного из следующих сигналов на входе системы: от датчика перепада давления на конфузоре нагнетателя, от датчика давления газа на входе или выходе нагнетателя, от датчика давления воздуха за осевым компрессором, от датчиков частоты вращения валов двигателя (при наличии независимой системы защиты двигателя от превышения допустимой частоты вращения валов двигателя на базе существующего ограничителя скорости вращения турбины).

Информационные функции:

- непрерывный контроль технологических параметров, в том числе измерение и представление по вызову оператора на экране панели управления значений, выбранных параметров в единицах физических величин с указанием знака данного параметра;
- вычисление косвенных параметров;
- представление на экране панели управления мнемосхем агрегата с указанием значений измеряемых параметров и положения исполнительных механизмов;
- постоянное представление в цифровом виде значений следующих параметров: температуры газа перед силовой турбиной (СТ), частоты вращения СТ и перепада давления «масло – газ» в системе подшипников и сальников;
- автоматическое обнаружение, отображение и звуковая сигнализация отклонений технологических параметров от аварийных уставок;
- автоматическое обнаружение и отображение отклонений технологических параметров от предупредительных уставок;

- представление информации о невыполненных предпусковых условиях;
- представление информации об основных режимах работы агрегата: «Готов к пуску», «Пуск», «Работа», «НО», «АО»;
- запоминание сигналов, вызвавших аварийный останов, а также значений основных технологических параметров агрегата при срабатывании аварийной защиты с возможностью ретроспективного анализа состояния агрегата (с дискретностью 1 секунда) за 60 секунд до начала аварии и 10 секунд после завершения АО;
- автоматическая передача в САУ и Р компрессорного цеха значений основных технологических параметров и других информационных сообщений.

Функции контроля: автоматический непрерывный контроль исправности цепей управления особо ответственными исполнительными механизмами и вспомогательным оборудованием ГПА; автоматический непрерывный контроль цепей аналоговых и особо ответственных дискретных датчиков; контроль состояния оборудования и отклонений технологических параметров от заданных предельных значений (уставок); автоматический контроль исправности основных программно-технических средств САУ и Р ГПА с сигнализацией отказа и защита от несанкционированного доступа.

Ниже приводится перечень входных и выходных сигналов САУ и Р ГПА.

Входные сигналы:

- дискретные (от датчиков двухпозиционных сигналов типа «Сухой контакт»; датчиков двухпозиционных сигналов, соединенных с источником питания переменного тока 220 В, 50 Гц);
- аналоговые (от термопреобразователей сопротивления и от преобразователей термоэлектрических);
- от преобразователей с электрическим выходным сигналом постоянного тока 4–20 мА, (датчиков давления, перепада давления, уровня, загазованности, вибро скорости, виброперемещения и осевого сдвига).

Выходные сигналы:

- дискретные устройства обеспечивают коммутацию электрических цепей постоянного тока (220 В, 1 А), постоянного тока (24 В, 5 А), переменного тока (220 В, 50 Гц, 3 А), индуктивность нагрузки (до 4 Гн) и её активное сопротивление (до 400 Ом);
- аналоговые обеспечивают управления антипомпажным клапаном, управления топливным регулирующим клапаном.

Функциональная схема автоматизации ГПА-Ц-16

Описание преобразователей нижнего уровня ГПА

На ГПА контроль и сигнализация осуществляется по большому числу параметров. Основные из них включены в систему аварийно-предупредительной защиты и сигнализации (рис. 1).

К ним относятся: давление масла смазки, перепад давления между газом в полости нагнетателя и маслом уплотнения, температура подшипников компрессора, температура продуктов сгорания, частота вращения роторов, давление газа на входе и выходе компрессора, температура газа на входе и выходе компрессора и так далее.

Измерение давления топливного газа перед дозатором (позиция 6) и после дозатора (позиция 7) осуществляется с помощью датчика давления типа «Сапфир-22 ДИ».

Измерение температуры газа на входе нагнетателя (позиции 12-1, 12-2), выходе нагнетателя (позиции 13-1, 13-2) осуществляется с помощью термометра сопротивления марки ТСП-1187 в комплекте с преобразователем температуры AGM НМР-4002-17, выходной сигнал которых поступает на регулятор скорости турбины SIC и на антипомпажный регулятор UIC.

Для измерения оборотов ротора компрессора низкого давления (КНД), высокого давления (КВД) и ротора нагнетателя используются датчики скорости марки НН&А-280Z213 (позиции 24, 25, 26), закрепленные на агрегате и использующие частотный сигнал для передачи данных на регулятор скорости турбины SIC.

Одним из основных параметров системы управления является сигнал по расходу. Он используется не только в алгоритмах антипомпажной защиты, но и распределения нагрузки между агрегатами. Для измерения расхода газа применяется ультразвуковой расходомер Гиперфлоу-УС (позиции 18, 19, 20, 21, 22, 23).

Перечень измерительных приборов и преобразователей нижнего уровня указан в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень первичных преобразователей нижнего уровня ГПА

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
1, 2, 3, 4, 5	Преобразователь давления STG 94L-E1G	5	ExialICT5
6, 7	Датчик давления «Сапфир-22 ДИ»	2	1ExdIIBT4
8	Преобразователь разности давлений Honeywell STD 930	1	
9	Датчик разности давления ТЖИУ-406Д	1	1ExdIIBT4
10-1, 11-1	Термопреобразователь сопротивления ТСП-1187	5	1ExdIICT6
12-1, 13-1			
14-1			
10-2, 11-2	Преобразователь температуры AGM HMP-4002-17	5	1ExdIICT6
12-2, 13-2			
14-2			
15, 16	Термопреобразователь сопротивления ТСПУ-5081	2	1ExdIICT6
17	Преобразователь термоэлектрический ТХАУ-1172	1	1ExdIICT6
18, 19, 20	Расходомер ультразвуковой «Гиперфлоу-УС»	6	ExibIIAT6X
21, 22, 23			
24, 25, 26	Датчик скорости НН&А-280Z21387	3	ExialICT5
27	Пусковая арматура	1	
28, 29, 30	Ключ управления	17	
31, 32, 33			
34, 35, 36			
37, 38, 39			
40, 41, 42			
43, 44			

Датчик разности давлений ТЖИУ-406Д

Датчики избыточного давления ТЖИУ-406Д взрывозащищённого и не взрывозащищённого исполнения применяются для непрерывного преобразования значения избыточного давления газов и жидкостей, неагрессивных по отношению к титановым сплавам, в унифицированный выходной сигнал постоянного тока в системах контроля и управления давлением.

Особенности исполнения датчика давления ТЖИУ-406Д:

- маркировка взрывозащиты «1ExdIIBT4», соответствует ГОСТ 22782.0-81, вид взрывозащиты – взрывонепроницаемая оболочка по ГОСТ 22782.6-81;
- встроенный электронный гаситель пульсаций измеряемого давления;
- устройство защиты от перенапряжений;
- возможность перенастройки пределов измерений.

Технические характеристики датчика давления ТЖИУ-406Д указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики датчика давления ТЖИУ-406Д

Характеристики	Значения
Диапазон измеряемых давлений, МПа	0–0,04; 0–25
Выходной сигнал постоянного тока, мА	4–20; 0–5
Предел допускаемой погрешности, %	±0,15
Диапазон рабочих температур, °С	от –60 до +80

Схема внешних электрических соединений датчика ТЖИУ-406Д представлена на рисунке 2.

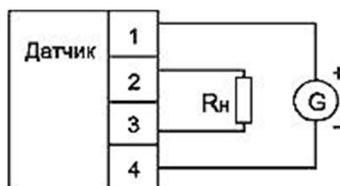


Рисунок 2 – Схема электрических соединений датчика ТЖИУ-406Д:
а) двухпроводная; б) четырёхпроводная; R_n – сопротивление нагрузки, Ом; G – источник питания

Преобразователь термоэлектрический ТХАУ-1172

Для измерения температуры различных сред корабельных энергетических установок и систем с преобразованием температуры в унифицированный электрический выходной сигнал постоянного тока 4-20 мА. В качестве первичных преобразователей используются термопреобразователи сопротивления с номинальной статической характеристикой (НСХ) преобразования 100П, 100М по ГОСТ6651-94 и термоэлектрические преобразователи с НСХ преобразования ХА (К), ХК(Л), НН(Н), ЖК(Ж) по ГОСТР 8.585-2001 с изолированным спаем. Технические характеристики термоэлектрического преобразователя ТХАУ-1172 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики термоэлектрического преобразователя ТХАУ-1172

Характеристики	Значения
Выходной ток, мА	4–20
Сопротивление нагрузки с линией связи, кОм, не более	
– для напряжения питания 24 В	0,6
– для напряжения питания 36 В	1,2
Напряжение питания от источника постоянного тока, В	14–36
Потребляемая мощность, Вт, не более	1

Электрическая схема подключения преобразователей с унифицированным выходным сигналом представлена на рисунке 3.

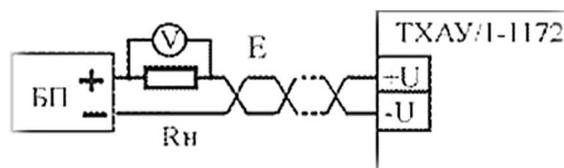


Рисунок 3 – Электрическая схема подключения ТХАУ-1172:
БП – блок питания постоянного тока, напряжение 18...36В; R_n – сопротивление нагрузки для измерения;
V – измерительный прибор; E – двухпроводная линия связи (витая пара)

Измерительный преобразователь избыточного давления Сапфир-22 ДИ

Прибор предназначен для преобразования величины избыточного давления жидких и газовых сред в унифицированный токовый выходной сигнал дистанционной передачи, для работы в системах контроля, учёта, регулирования технологическими процессами. В таблице 5 приведены технические характеристики датчика «Сапфир-22 ДИ».

Таблица 5 – Технические характеристики датчика «Сапфир-22 ДИ»

Характеристики	Значения
1	2
Выходной сигнал, мА	0–5; 4–20
Верхние пределы измерений, МПа	0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 60,0

Окончание таблицы 5

1	2
Погрешность измерения, %	1–5
Тип взрывозащиты	взрывонепроникающая оболочка, маркировка 1ExdIIBT4
Напряжение питания постоянного тока, В	24–36

Схема внешнего электрического соединения датчика «Сапфир-22 ДИ» на рисунках 4 и 5.

Расходомер ультразвуковой «Гиперфлоу-УС»

Расходомер ультразвуковой «ГиперФлоу-УС» предназначен для измерения в рабочих условиях и приведённого к нормальным условиям расхода и количества природного газа и других газовых сред в напорных газопроводах диаметром от 100 до 1600 мм.

Расходомер предназначен для коммерческого и технологического учёта расхода и количества газовых сред на промышленных и коммунальных объектах как автономное средство измерения, а также в составе автоматизированных систем учёта и контроля или передачи информации в другие системы.

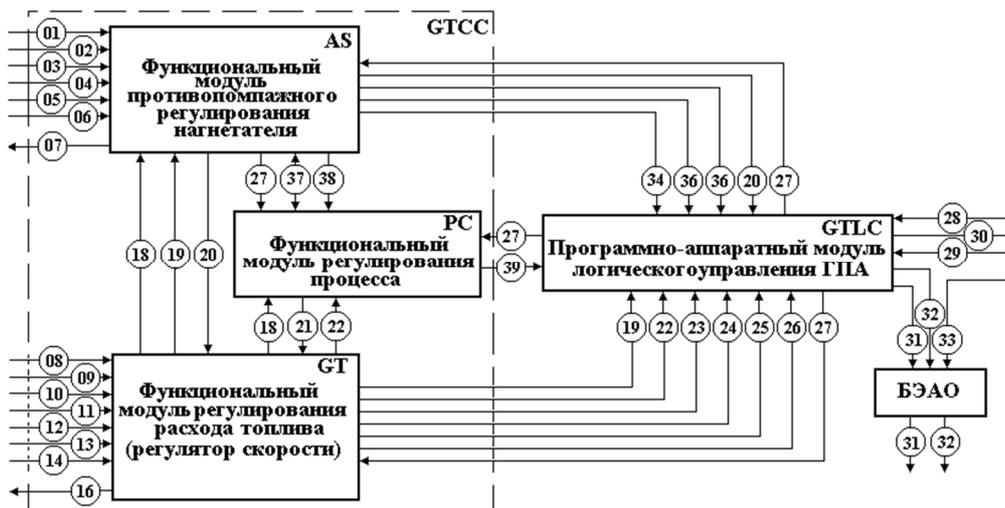


Рисунок 4 – Схема внешнего электрического соединения датчика «Сапфир-22 ДИ»: ПР – преобразователь; G – источник питания; Rn – сопротивление нагрузки, Ом

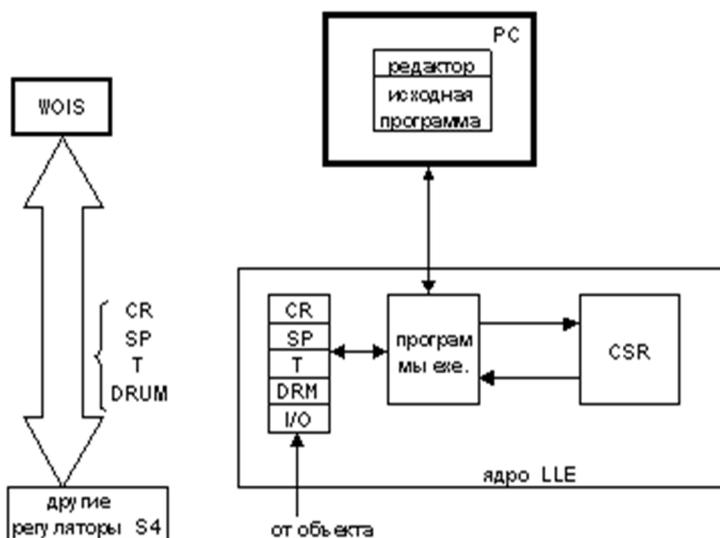


Рисунок 5 – Схема внешнего электрического соединения датчика «Сапфир-22 ДИ»

По принципу действия расходомер относится к времяимпульсным ультразвуковым расходомерам, работа которых основана на измерении разности времени прохождения зондирующих импульсов ультразвуковых колебаний между чётными и нечётными датчиками пьезоэлектрическими ДПЭ по направлению скорости потока рабочей среды в измерительном газопроводе (первичном преобразователе), и против него (по V-, W-образному или по линейному пути) (рис. 6).

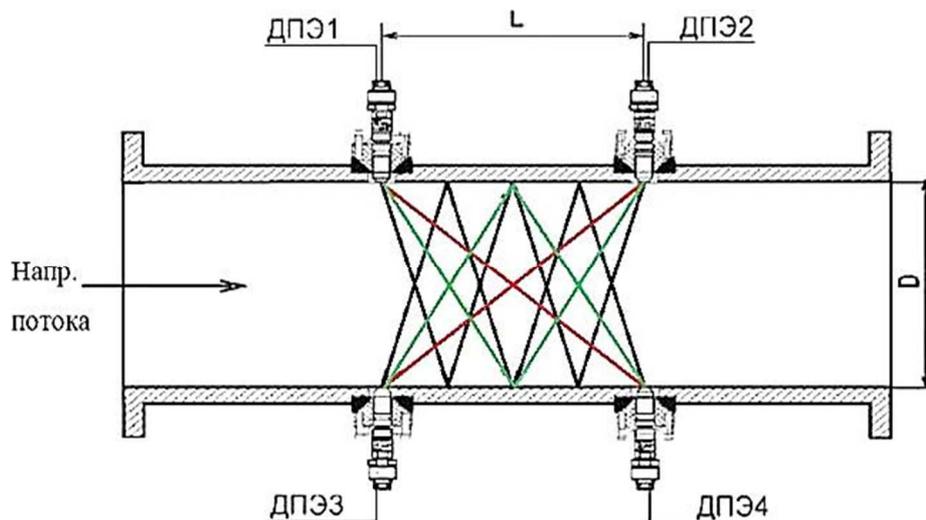


Рисунок 6 – Принцип работы расходомера:
чёрный – W-образный путь ультразвукового луча; зелёный – V-образный путь ультразвукового луча;
красный – линейный путь ультразвукового луча

Возбуждение и приём зондирующих импульсов производится пьезоэлектрическими датчиками, устанавливаемыми на измерительный трубопровод с измеряемым расходом. Попеременная коммутация режимов «приём – передача» пар датчиков обеспечивается блоком электронным.

Противоаварийная защита

На функциональной схеме автоматизации также исполнены компоненты противоаварийной защиты, проведем краткое описание выбранных компонентов ПАЗ.

Система защиты по частоте вращения КВД, СТ предназначена для защиты газовой турбины, при превышении частоты вращения которой может произойти отрыв лопаток, разрушение замков и дисков, могут появиться осевые сдвиги и разрушения подшипников.

Защита по температуре газа на входе и выходе нагнетателя необходима для предотвращения осевых сдвигов, появлению вибрации, разрушению подшипников.

Защита по давлению газа на входе и выходе нагнетателя обеспечивает предотвращение появлению вредных вибраций, нарушению целостности работы нагнетателя. Перечень противоаварийной защиты приведён в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень противоаварийной защиты

№ сценария защиты	№ позиции защиты	Условие срабатывания	Действие защиты
1	24	превышение аварийной уставки по частоте вращения КВД	Закрытие стопорного клапана
2	25	превышение аварийной уставки по частоте вращения СТ	закрытие стопорного клапана
3	13-1	превышение аварийной уставки по температуре газа на выходе из Н	закрытие стопорного клапана
4	1	превышение аварийной уставки по P газа на входе	закрытие стопорного клапана
5	2	превышение аварийной уставки по P газа на выходе	закрытие стопорного клапана

Многозадачная система контроля и управления «Series-4»

«Series-4» является специализированной иерархически распределённой многоуровневой управляюще-информационной цифровой системой, предназначенной для автоматизации не только ГПА, но и КЦ и КС в целом.

В агрегатный уровень системы входят: программно-аппаратный модуль GTCC для регулирования ГПА; программно-аппаратный модуль GTLC для сбора и логической обработки параметров и управления исполнительными механизмами (ИМ); датчики, нормирующие преобразователи; ИМ и клапаны; модули ввода-вывода IOM; модули расширения EIOM.

В цеховой уровень управления входят: программно-функциональный модуль регулирования параметров КЦ MPIC; станция оператора КЦ – Shop Operator Interface Station (SHOIS); датчики цехового уровня.

Агрегатный уровень обеспечивает:

- регулирование параметров ГПА в пределах заданных ограничений;
- предотвращение помпажа нагнетателей;
- задание режима ГПА в соответствии с выходными сигналами цехового модуля регулирования MPIC;
- участие в автоматическом пуске и останове ГПА;
- вывод его в магистраль и из неё.

Цеховой уровень управления обеспечивает: поддержание заданного значения расхода КЦ; распределение в заданном диапазоне нагрузки между агрегатами; связь с системой верхнего уровня.

Все программно-аппаратные модули располагаются на блок каркасе Multi Functional Chassis (MFC). Все модули выполняются дублированными, т.е. с горячим резервированием, и занимают на каркасе по два гнезда. Для подключения аналоговых, дискретных и частотных сигналов контроллеры оснащаются аппаратными модулями связи Field Termination Assembly (FTA), где сигналы с датчиков нормируются и поступают в программно-аппаратные модули, где фильтруются и преобразуются в цифровую форму.

Цифровая последовательная связь между модулями ПТС «Series-4» (S4) и станцией оператора КЦ использует интерфейс RS-422, который предполагает наличие двух каналов связи, одного для передачи данных, второго для приёма. В соответствии со сформулированными во введении задачами система включает в себя:

- первичные и нормирующие преобразователи параметров;
- программно-технические средства S4;
- антипомпажный клапан, по одному на каждый нагнетатель;
- управляющие клапаны, воздействующие на расход топлива, для управления режимом работы приводной газотурбинной установкой (ГТУ), по одному на каждый агрегат;
- оснащённую мониторами станцию оператора (одна на КЦ).

В состав программного обеспечения входит ряд программ, каждая из которых имеет свои функции.

Перечень программ рассмотрен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень прикладных программ в ПТС «Series-4»

Прикладные программы	Функциональный модуль (реализация прикладной программы)		Примечание
	обозначение	назначение	
1	2	3	4
AS (Antisurge Module)	UIC (Multixarible Indicating Control Module)	антипомпажный регулятор	входит в состав программного обеспечения GTCC
GT (Gas Turbine Module)	SIC (Speed Indicating Control Module)	управление расходом топлива агрегата	входит в состав программного обеспечения GTCC

Окончание таблицы 7

1	2	3	4
PC (Performance Control Module)	LSIC (Load Sharing Indicating Control Module)	распределение нагрузки между нагнетателями	входит в состав программного обеспечения GTCC
	MPIC (Master Performance Indicating Control Module)	регулирование параметров КЦ	входит в состав программного обеспечения SHMC
	SMPIC (Station Master Performance Indicating Control Module)	регулирование КС в целом	может входить в состав программного обеспечения SHCC

Модуль регулирования расхода топлива GT поддерживает частоту вращения нагнетателя, при нормальной работе в функции модуля также входит следующее:

- открытия топливного клапана Amot в зависимости от давления осуществление последовательности запуска турбины;
- понижение оборотов турбины при нормальном останове;
- ограничение max оборотов компрессора низкого давления (КНД);
- ограничение максимальных и минимальных оборотов компрессора высокого давления (КВД);
- ограничение температуры продуктов сгорания; ограничение за осевым компрессором.

GTCC (Gas Turbine/Compressor Control Module) – программно-аппаратный модуль регулирования ГПА, программное обеспечение которого включает в себя программы AS, GT и PC;

SHMC (Shop Master Control Module) – программно-аппаратный модуль регулирования параметров компрессорного цеха либо группы ГПА.

SHCC (Shop Communication Control Module) – программно-аппаратный коммуникационный модуль КЦ. Модуль осуществляет связь между всеми уровнями управления КС – станционным, цеховым и агрегатным. Выполнены с «Горячим» резервированием и связаны с другими программно-аппаратными модулями своего КЦ и друг с другом резервированными скоростными каналами.

Все функции системы по регулированию выполняются при работе GT в режиме дистанционного управления. В этом режиме GT получает задание по оборотам нагнетателя от PC.

Модуль антипомпажного регулирования (AP) AS постоянно рассчитывает расстояние рабочей точки нагнетателя от помпажа и передаёт её цеховому контроллеру для осуществления противопомпажного регулирования и защиты, кроме того, AS рассчитывает девиацию (Dev) – расстояние до линии противопомпажного регулирования, и степень сжатия нагнетателя и передаёт их в регулятор нагрузки (РН) и служит для поддержания заданного давления на выходе агрегата, ввода-вывода, агрегата из трассы, поддержания переменных процесса в безопасных пределах. Если по каким либо причинам несмотря на работу противопомпажной защиты нагнетателя попадает в помпаж, то AS распознаёт его. Если в агрегате зарегистрирован помпаж, то в фиксируемом окне станции управления «Панель управления цеха» появится сообщение о регистрации помпажа.

Статусы модуля AS определяются на основании измеряемых параметров и команд управления от логического контроллера GTLC или операторской станции.

Модуль AS переходит в статус «Полный останов» сразу после включения электропитания или через статус «Холостой ход», после получения команды НО при нахождении модуля AS в статусе «Работа» или сразу после получения команды аварийный останов (АО) при нахождении модуля AS в статусах «Работа» или «Стоп».

После завершения останова антипомпажный клапан полностью открыт (при снятии питания с комплекса, клапан раскрывается автоматически).

Статус продувки выбирается тогда, когда получена команда на продувку в то время, когда модуль AS находится в статусе «Полный останов», либо в статусе «Руч-

ное регулирование» (если это разрешено). При этом модуль AS принудительно закрывает антипомпажный клапан, что заставляет газ при продувке пройти через компрессор. Статус «Продувка» может использоваться при необходимости закрытия АПК в конце аварийного или нормального останова. В этом случае снятие питания с комплекса можно производить только при закрытом кране 6. При необходимости клапан может быть закрыт вручную.

Модуль AS автоматически переходит в статус «Работа» после запуска ГПА и будет находиться в данном статусе до перехода в статус «Ручное управление» или «Стоп». В статусе «Работа» модуль AS функционирует в соответствии с алгоритмами предотвращения помпажа и распределения нагрузки. Модуль AS закрывает клапан, если нет помпажной ситуации.

Модуль AS переходит из статуса «Работа» в статус «Стоп» тогда, когда значение расхода, давления или частоты вращения становится ниже заданной пороговой величины на период времени, превышающий заданный, или когда получен запрос на переход к режиму холостого хода. При этом модуль AS открывает клапан с постоянной скоростью.

Модуль AS может переходить в статус «Ручное управление» (если это разрешено) при проведении пуско-наладочных работ. При этом антипомпажный клапан дистанционно управляется оператором.

Модуль регулирования нагрузки (РН) всех агрегатов поддерживает одинаковое расстояние от линии помпажа Dev, которая рассчитывается в противопомпажном регуляторе, и может быть отмасштабирована с помощью коэффициентов распределения нагрузки. Заданием на РН всех агрегатов, служит наибольшая DEV из всех передаваемых АР и выбираемая мастером. РН ограничивает давление на выходе нагнетателя на уровне 7,55 МПа.

Модуль регулирования КЦ – мастер регулятор поддерживает давление на выходе КЦ. Диапазон изменения задания: 3,00-7,50 МПа.

При повышении задания (или когда давление выхода падает ниже задания) мастер посылает сигналы на увеличение оборотов всем работающим модулям РН.

Увеличение задания оборотов каждого агрегата будет осуществляться до достижения давления на выходе цеха заданной величины, до достижения предельного значения одного из ограничиваемых параметров.

Уменьшение задания по оборотам от мастера для каждого агрегата будет осуществляться до достижения давлением на выходе КЦ заданной величины, или до достижения минимальных регулируемых оборотов нагнетателя, или пока DEV не будет меньше 0,06.

Распределение между параллельно работающими ГПА осуществляется по заданному соотношению (равенству) расстояний рабочих точек нагнетателей от линии настройки всех АР, обеспечивая одновременное прибытие рабочих точек нагнетателей от линии настройки своих модулей АР и предотвращая тем самым рециркуляцию одного или нескольких нагнетателей до тех пор, пока есть возможность предотвращения её за счёт распределения нагрузки. Кроме того, повышение задания от мастера прекращается, если на выходе цеха давление станет превышать 7,50 МПа. Мастер переходит в режим ограничения и поддерживает это давление оборотами более активно, пока давление не станет ниже 7,53 МПа и мастер контроллер не перейдёт в режим нормального регулирования.

Если давление превысит 7,55 МПа, то включается алгоритм ограничения давления перепуском газа через АПК. АПК всех агрегатов открывается до понижения давления до уставки не более 7,55 МПа.

Программно-аппаратный модуль АФМ ПТС «Series-4»

АФМ – программно-аппаратный модуль, предназначен для выполнения различных функций, связанных с управлением агрегата.

Модуль АФМ может содержать в себе два вида программного обеспечения: операционную систему управления прикладными программами и аппаратными средства-

ми (FTOS 2 – Fault Tolerant Operating System), предназначенную для обработки входных и выходных сигналов объекта управления, самодиагностики AFM, включая обнаружение программных и аппаратных отказов, обмена информацией по последовательному каналу связи с пультом оператора ГПА – OIS (Series 4 Protocol); организации обмена по последовательному каналу связи с локальными системами автоматизации или средствами представления информации других фирм-изготовителей; обеспечения работы с отладочным средством (Series 4 Protocol); внутреннего обмена управляющих модулей (IOM) с расширителями ввода-вывода (EIOM), входящими в состав комплекса (I/O Bus); прикладное программное обеспечение для выполнения следующих функции управления, а именно: регулирования или ограничения основных параметров ГПА; управления расходом топлива; антипомпажного регулирования; распределения нагрузки между агрегатами; автоматического безударного ввода (вывода) ГПА в магистраль (из магистрали); логического управления и защиты ГПА и т.д.

Каждый из модулей AFM ориентирован на выполнение конкретных задач и может содержать до трёх прикладных функций управления. AFM базируется на трех типах аппаратных модулей: IOM, EIOM, MPM.

Input/Output Module (IOM) – универсальный управляющий модуль, в котором устанавливается и выполняется программное обеспечение. IOM выполняют соответствующие алгоритмы управления, принимают и выдают (через «Дочерние платы» ввода-вывода – DC) входные и выходные сигналы и обмениваются информацией с системами управления более высокого уровня. Также могут поддерживать несколько различных комплектов программного обеспечения, которые должны быть логически связаны друг с другом. В зависимости от установленного программного обеспечения модуль выполняет функции GTCC или GTLC.

К транспьютеру – сборщику нормализованных сигналов от датчиков, подключаются:

- FLASH память объёмом до 1 Мб 32-х разрядных слов;
- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) объёмом до 128 Кб 32-х разрядных слов.

Центральным контроллером модуля является 32-х разрядный транспьютер T805A фирмы Immos, а контроллером ввода-вывода БИС фирмы Motorola-MC68332. Системная программа пользователя выполняется под руководством транспьютера. БИС формирует четыре последовательных канала, приёмники-передатчики, которых не имеют гальванического разделения. К одному из портов (CPI) подключается ПЭВМ при отладке программы.

Кроме того, транспьютер управляет двумя последовательными каналами (PortA и PortB), которые имеют гальваническое разделение. Последовательные каналы PortA и PortB (интерфейс RS 422/RS 485) предназначены для связи с удалёнными техническими средствами, в частности, с MOIS. К контроллеру ввода-вывода подключается: системный банк памяти (FLASH память объёмом 512 Кб 16-ти разрядных слов); прикладной банк памяти (FLASH память объёмом 512 Кб 16-ти разрядных слов); статическое ОЗУ объёмом 128 Кб 16-ти разрядных слов. Контроллер ввода-вывода управляет работой последовательного канала RS 485 (Rx, Tx 332), к которому подключаются последовательные каналы модулей расширения ввода-вывода EIOM. Связь с входными и выходными сигналами осуществляется через «Дочерние платы» (DC). Одна или две «Дочерние платы» устанавливаются непосредственно на модуль IOM и тем самым определяют количество и типы сигналов, принимаемых модулем. DC управляются контроллером ввода-вывода.

Extended Input/Output Module (EIOM) – модуль расширения ввода-вывода. Для увеличения общего количества сигналов ввода-вывода имеется возможность подключения к модулям IOM по последовательной связи до восьми модулей EIOM. Связь с входными сигналами осуществляется модулем EIOM через такие же «Дочерние платы», как и IOM.

В качестве контроллера ввода-вывода используются интегральные микросхемы фирмы Motorola – MC 68332, к которым подключены:

- системная FLASH память объёмом до 512 Кб 16-ти разрядных слов; прикладная FLASH память объёмом до 512 Кб 16-ти разрядных слов;

- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) объемом 32 Кб 16-ти разрядных слов; статическое ОЗУ объемом 128 Кб 16-ти разрядных слов;
- узел управления двумя дочерними платами, через который осуществляется приём и выдача входных-выходных сигналов, поступающих с дочерних плат.

Последовательный канал RS485 (Tx, Rx-332) MC 68332 через приёмопередатчики используется для организации связи с контроллерными модулями GTLC, GTCC. По этому каналу передается (принимается) информация, поступающая от объекта управления через дочерние платы.

Помимо увеличения количества входов/выходов, EIOM выполняет первичную обработку входных – выходных сигналов (фильтрацию, калибровку, линеаризацию, контроль пороговых значений и так далее).

Main Processor Module (MPM) – модуль коммуникационный, предназначен для межпроцессорного обмена (Machine Communication Control (MCC)).

Коммуникационный модуль обеспечивает: обмен информацией между модулями IOM, а именно GTCC и GTLC; связь CAU и P с вышестоящим уровнем управления.

Центральным контроллером модуля является 32-х разрядный транспьютер T805A фирмы «Inmos». К транспьютеру подключаются:

- FLASH память объемом 256 Кб, 32-х разрядных слов;
- большая интегральная схема (БИС) транспьютера формирует четыре последовательных канала, приёмники-передатчики которых не имеют гальванического разделения.

К первому и второму каналу транспьютера подключаются модули MPM для обмена информацией между собой (в случае использования нескольких модулей MPM в одном устройстве). Третий канал транспьютера выдаёт (принимает) информацию на (от) передатчик (приёмников) девяти последовательных каналов. Для выбора номера канала предназначен регистр адреса и дешифратор, с помощью которых формируется сигнал, поступающий на приёмник – передатчик одного из девяти каналов. Четвёртый канал транспьютера используется для подключения ПЭВМ при отладке программы. Кроме этого в состав модуля MPM включены схемы, формирующие четыре последовательных канала, которые имеют гальваническое разделение. При этом в качестве элемента гальванической развязки в каналах А и В используется – трансформатор (с частотой обмена до 10 МГц), в каналах Port A, Port B (с частотой обмена до 38,4 Кбод) – оптопара.

Электропитание модуля EIOM осуществляется от 2-х сетей 24 В, которые поступают на стабилизатор напряжения. На выходе стабилизатора формируется напряжение 5 В.

Блок экстренного аварийного останова (БЭАО) предназначен для реализации экстренного аварийного останова ГПА при полном отказе средств автоматики (одновременный отказ источников первичного электропитания) и управляется оператором от кнопки ЭАО, размещенной на пульте управления, либо автоматически. Алгоритм экстренного аварийного останова заключается во включении пусковых маслонасосов, перестановке топливных клапанов и основных агрегатных кранов в состояние, соответствующее аварийному останову.

Gas Turbine Compressor Control (GTCC) – программно-аппаратный модуль регулирования агрегата, в зависимости от загруженного пакета прикладных программ может выполнять до трёх специализированных приложений (функциональных модулей).

Для каждого приложения устанавливается отдельный комплект программного обеспечения, например:

- модуль управление расходом топлива (GT);
- модуль антипомпажного регулирования (AS);
- модуль распределение нагрузки между ГПА (PC).

Стандартные программы регулирования позволяют сконфигурировать модуль на любое частное применение. На него возложены функции автоматического регулирования ГПА.

Модуль решает различные задачи регулирования ГПА, в том числе, например: управление (по различным критериям) расходом топлива через двигатель; антипомпажное регулирование и защита нагнетателя; регулирование процесса; управление устройствами механизации двигателя.

Для выполнения указанных функций модуль GTCC включает в себя три функциональных программных модуля.

Gas Turbine Logic Control (GTLC) – программно-аппаратный модуль логического управления – предназначен для выполнения задач логического управления ГПА и его вспомогательными механизмами и устройствами.

В состав модуля GTLC входят один центральный модуль IOM (на котором имеется две дочерние платы) и до восьми модулей расширителя EIOM (две дочерние платы на каждом, обеспечивающие необходимое количество входов/выходов).

В модуль IOM загружаются программы, составленные на языке релейной логики, выполняющие конкретные функции по управлению ГПА.

Стандартными функциями модуля являются: выполнение последовательностей по пуску и останову агрегата; обеспечение аварийной защиты и сигнализации; осуществление контроля работы системы, а также координация функций, выполняемых другими модулями. Функции автоматического управления выполняет программно-аппаратный модуль логического управления GTLC. Логическая программа разбита на две функциональные группы, включающие анализ различных условий работы ГПА и исполнение управляющих команд в соответствии с заданным алгоритмом.

Перечень сигналов участвующих в обмене приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень каналов связи GTLC-GTCC

№ сигнала	Сигнал	№ сигнала	Сигнал
1	Давление на всасывании нагнетателя	20	Дистанционное задание частоты вращения СТ
2	Давление в нагнетании нагнетателя	21	Статус функционального модуля GT
3	Температура на всасывании нагнетателя	22	Передача сигналов по частоте вращения СТ, ТВД, ТНД
4	Температура в нагнетании нагнетателя	23	Передача сигналов по температуре продуктов сгорания
5	Перепад давления на конфузоре нагнетателя	24	Передача сигналов по давлению за осевым компрессором
6	Положение АПК	25	Передача сигналов по положению топливного клапана
7	Управление АПК	26	Сигналы по управлению модулями AS, GT, PC в режимах автоматического пуска, HO и AO
8	Частота вращения СТ	27	Аналоговые и дискретные датчики ГПА, используемые в алгоритмах управления
9	Частота вращения ТВД	28	Дискретные датчики положения кранов и ИМ ГПА
10	Частота вращения ТНД	29	Управление вспомогательными ИМ ГПА
11	Температура продуктов сгорания	30	Управление стопорным клапаном
12	Давление воздуха за осевым компрессором	31	Управление крановой обвязкой ГПА
13	Температура наружного воздуха	32	Команда оператора на экстренный аварийный останов, сигналы неисправности модулей GTCC и GTLC
14	Положение топливного регулирующего клапана	33	Передача сигналов по давлению и температуре во всасывании и нагнетании нагнетателя
15	Резервный канал	34	Передача сигналов по положению АПК
16	Управление регулирующим клапаном	35	Статус функционального модуля AS
17	Передача сигнала по частоте вращения СТ	36	Упреждающие сигналы, устраняющие взаимовлияние связанных контуров регулирования AS и PC
18	Помпаж	37	Статус функционального модуля PC
19	Сигнал аварийного останова	38	Расстояние между рабочей точкой нагнетателя и линией настройки антипомпажного регулятора

Внутренняя программная структура контроллеров GTLC, GTCC

Контроллеры имеют два процессора. Конструктивно, как в GTCC так и в GTLC могут быть подключены EИOM (экстенденты).

В GTLC грузится программный пакет FTOS2 и приложение SEQUENCE, где задается время сканирования входных величин от датчиков агрегата, и составляет 240 мс.

Программа для логического контроллера (CPI), представляет собой язык релейной логики (Loader logic). CPI находится на вспомогательном компьютере (PC 486, ОЗУ 512 кБ). Весь пакет загружается в одну директорию. Редактор работает в DOS. GTLC имеет 2 последовательных порта, их можно конфигурировать на протокол WOIS (связь со станцией оператора) и на протокол OIS (связь с другими контроллерами). Между GTLC и EИOM производится обмен данными по селективной связи (9 – пиновый разъём).

Программное ядро контроллера GTLC LLE содержит базу данных и исполняемую программу, состоящую из регистров (CR, SP) с плавающей запятой (от –32762 до +32762); таймер (T) (для формирования последовательности); барабан DRUM (16×16) (DRM); поле входов – выходов (I/O).

С этой базой работают все внешние контроллеры, WOIS. По окончании цикла, значения этой базы обновляются.

Существуют также отдельные подпрограммы (customer subroutine (CSR)). Это подпрограммы для перестановки кранов, подсчёта моточасов и тому подобного. DRUM – логическое устройство для выполнения микропрограмм. Организация 16×16, количество шагов (микропрограмм) барабана 16. Шаг выполняется по условиям выполнения элементами своих функций.

Устройство связи с объектом

Field Termination Assembly (FTA) – устройство связи с объектом предназначено для:

- сопряжения комплекса «Series 4» с входными и выходными каналами объекта управления;
- установки вторичных преобразователей для нормализации, гальванического разделения и усиления входных и выходных сигналов.

На FTA расположены клеммники, к которым подсоединяются кабели от датчиков и исполнительных механизмов.

Используются следующие типы FTA:

- SFTA служит для подключения частотных до 6 входных и выходных дискретных сигналов к GTCC;
- FTA-43 служит для подключения, запитывания, нормализации и гальванического разделения через вторичные преобразователи, 16 аналоговых входных сигналов от первичных преобразователей температуры (термопреобразователей сопротивления (ТС), термоэлектрических преобразователей (ТП), токовых сигналов величиной 4–20 мА) и датчиков, имеющих выходной сигнал 4–20 мА или 0–5 В;
- FTA-52 служит для приёма 19 сигналов от двухпозиционных датчиков объекта, и установки преобразователей для гальванического разделения и нормализации дискретных сигналов;
- FTA-62 служит для гальванического разделения и усиления 18 выходных сигналов управления исполнительными механизмами технологического объекта с одновременным контролем исправности цепи управления (по требованию заказчика).

Построение системы МСКУ 4510-СГ

Порты последовательной связи

Обмен информацией между регуляторами осуществляется через порты последовательной связи. Для этого регуляторы соединяются по принципу «Общей шины». По этим каналам осуществляется передача команд на пуск и останов компрессоров, синхронизация работы регуляторов скорости и нагрузки с противоположными регуляторами, передача заданий от главного регулятора, и другие виды коммуникаций внутри САУ.

Все регуляторы нагрузки и антипомпажные регуляторы соединены между собой через порт 1, которые являются самым быстродействующим. Поэтому порту осуществляется передача информации от антипомпажных регуляторов регуляторами нагрузки. По порту 2 осуществляется связь всех регуляторов со стационарным главным регулятором.

По этому порту главный регулятор собирает данные о расстоянии рабочих точек каждого компрессора от границы помпажа для формирования заданий на перераспределение нагрузки между ГПА, которое он передаёт также по этому порту.

Порт 3 связывает регуляторы нагрузки с регуляторами скорости. К порту 4 подключается стандартный персональный компьютер, в который загружается программа Workstation Operator Interface Software (WOIS).

Для подключения большого количества регуляторов к компьютеру требуется плата расширения портов (DigiBord). Обмен информацией между компьютером и системой управления производится по унифицируемому протоколу MODBUS. Через этот порт производится также ввод и корректировка параметров регуляторов с помощью программы TOOLBOX, как через рабочий компьютер, так и через подключаемый LAPTOP (переносной NoteBook), подключаемый к порту COM2 рабочего компьютера.

Пульт оператора

Пульт оператора предназначен для индивидуального управления ГПА при помощи операторской станции, а также для управления совокупностью (до 8) ГПА с любыми типами приводов, входящих в состав цеха и общецеховым оборудованием при помощи пульта оператора цехового уровня SHOIS (Shop Operator Interface Station).

В его функции входит обеспечение представления необходимой информации и выдачу команд управления с помощью программно-технического комплекса на базе ПЭВМ, организация обмена информацией с комплексами автоматики верхнего (нижнего) уровня, обеспечение информационных функций комплекса «Series 4», организация комфортного рабочего места оператора.

Индивидуальный пульт управления (ПУ) может содержать до 10 командных управляющих клавиш (согласованных с заказчиком), например: больше – меньше; НО; АО; экстренный аварийный останов; деблокировка экстренного аварийного останова; включение пиропатронов (для АСП).

Indication module (IM) – индикационный модуль представляет собой информационное цифровое 6 знаковое табло, на котором постоянно отображается один из параметров системы. Обычно комплекс содержит три IM, на которых, например, отображаются: частота вращения ТН, температура продуктов сгорания, перепад давления «масло – газ».

Machine Operator Interface Station (MOIS) – станция контроля и управления ГПА (станция операторская) представляет собой аппаратно-программный модуль, предназначенный для контроля и управления технологическим процессом в составе комплекса «Series 4».

MOIS включает в себя персональный компьютер с ОЗУ не менее 16 Мб, работающий под управлением MS WINDOWS 95 (MS Windows 3.11 или MS Windows for Work Groups), пакет прикладных программ WOIS, а также технологический интерфейс оператора ГПА.

На рисунке 7 показана структурная схема САУ и Р КС.

Инструментальная система программирования промышленных контроллеров

Прикладное программное обеспечение (ПО) современных программируемых логических контроллеров (ПЛК), имеющих встроенную операционную систему, может быть разработано как с использованием традиционных инструментальных средств (компиляторы языков СИ, Паскаль, Фортран, Бейсик и т.д.), так и на основе специализированных языковых средств. Традиционная технология требует от разработчика знаний не только в области использования языков программирования, но и особенностей операционной системы, а также аппаратных возможностей данного контроллера и

организации системы ввода/вывода. При этом разработанное ПО будет привязано только к данному типу контроллера и не может быть перенесено на другую аппаратно-программную платформу. Потребность в специальных платформах – независимых языках программирования – возникла давно. Она послужила причиной объединения усилий ведущих производителей контроллеров по разработке под эгидой Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) стандартов на такие языки программирования ПЛК. Одной из первых реализации стала инструментальная система ISaGRAF.

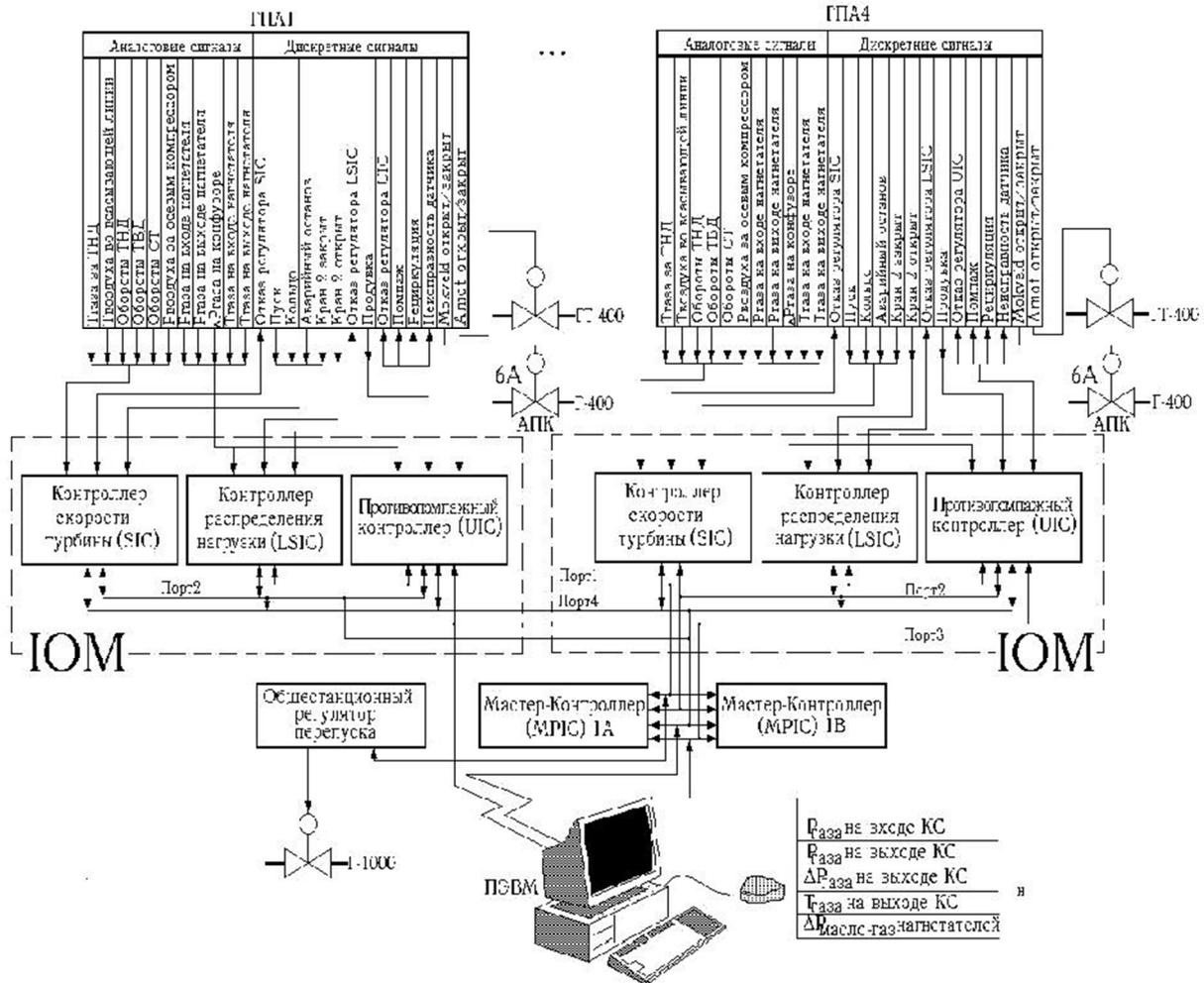


Рисунок 7 – Структурная схема CAU и P CAU

Архитектура ISaGRAF

Система ISaGRAF состоит из двух частей: системы разработки ISaGRAF Workbench и системы исполнения ISaGRAF Target. Система разработки представляет собой набор Windows-приложений, интегрированных в единую инструментальную среду и работающих под операционной системой (ОС) Windows 95/98/NT.

Основу системы исполнения составляет набор программных модулей (для каждой целевой системы свой), выполняющих самостоятельные задачи, под управлением ядра ISaGRAF.

Ядро ISaGRAF реализует поддержку стандартных языков программирования, типового набора функций и функциональных блоков и драйверов ввода/вывода. Задача связи обеспечивает поддержку процедуры загрузки пользовательского ISaGRAF-приложения со стороны программируемого контроллера, а также доступ к рабочим переменным этого приложения со стороны отладчика системы разработки ISaGRAF. Взаимодействие систем разработки и исполнения осуществляется по протоколу MODBUS, что дает возможность доступа к данным контроллера не только отладчику

ISaGRAF, но и любой системе визуализации и управления данными (SCADA). Драйверы устройств сопряжения с объектом организуют прозрачный доступ к аппаратуре ввода/вывода. Функции пользователя реализуют процедуры и алгоритмы функций. Системные функции предназначены для описания специфики конкретной (ОС), реализованной на данном типе контроллеров.

Языки программирования, реализованные в ISaGRAF

В ISaGRAF заложена методология структурного программирования, позволяющая пользователю представить автоматизированный процесс в наиболее легкой и понятной форме. Стандартом IEC 61131-3 определяется пять языков: три графических (SFC, FBD, LD) и два текстовых (ST, IL). Помимо этих языков, ISaGRAF предлагает язык блок-схем (Flowchart). Все эти языки программирования интегрированы в единую инструментальную среду и работают с единими объектами данных.

SFC – язык последовательных функциональных схем, с помощью которого программа представляется последовательностью шагов, разделяемых переходами. Язык хорошо приспособлен для программирования задач логического управления.

FBD – графический язык диаграмм релейной логики. Язык удобен для программирования задач, например, вычислительного характера, решение которых может быть представлено функциональной схемой, состоящей из таких блоков, как сложение, умножение, интегрирование и т. д.

LD – язык релейных (лестничных) диаграмм или релейной логики. Язык удобен для программирования несложных булевых операций и для решения задач в виде релейно-контактных схем автоматики.

ST – язык структурированного текста. Относится к классу языков высокого уровня, похожих на Паскаль, удобен для программирования сложных процедур, которые трудно описать графическими языками.

IL – язык инструкций – язык низкого уровня, похож на Ассемблер и является высокоэффективным для небольших программ и для оптимизации отдельных частей сложных программ, если требуется высокое быстродействие.

Из выше перечисленных языков выбираем язык FBD, так как он наиболее приемлем как по уровню, так и по синтаксису, и удобен для реализации сложных алгоритмов и процедур.

Программирование контроллера

Работа начинается с создания проекта в ISaGRAF (File – New). В описании проекта можно указать автора проекта, его название. В самом проекте создается программа, при этом надо указать, какой язык программирования будет использоваться (Language – New Program), тип программы (начальная, последовательная, конечная).

Перед тем как вводить текст программы, необходимо объявить используемые в ней переменные (Dictionary – Global variables) (по типу: булевые, аналоговые, таймерные, сообщения, функциональные блоки; по виду: внутренние, входные, выходные).

После ввода текста необходимо проверить программу на наличие ошибок (Files – Verify). И только после этого производят присоединение переменных ввода/вывода к платам и подсоединение переменных для наблюдения за изменениями сигналов.

Программирование на языке ST

ST (Structured Text) – текстовый высокоуровневый язык общего назначения, по синтаксису ориентированный на Паскаль. Язык по умолчанию используется для описания действий внутри шагов и переходов.

ST программа – это список ST операторов. Каждый оператор заканчивается точкой с запятой.

Имена, используемые в исходном коде (идентификаторы переменных, константы, ключевые слова) разделены неактивными разделителями (пробелами, символами окончания строки и табуляции) или активными разделителями, которые имеют определенное значение (например, разделитель «>» означает сравнение «больше чем»). В текст могут быть введены комментарии. Комментарий должен начинаться с «(» и заканчиваться «)». Каждый оператор заканчивается точкой с запятой («;»).

Основные операторы языка ST:

- оператор присвоения (variable:=expression);
- вызов подпрограммы или функции;
- вызов функционального блока оператор условия (IF, THEN, ELSE);
- оператор выбора (CASE);
- итеративные (циклические) операторы (FOR, WHILE, REPEAT);
- управляющие операторы (RETURN, EXIT);
- специальные операторы для связи с такими языками как SFC.

Оператор присвоения:

«:=» – присваивает переменной значение некоторого выражения или константы:
<переменная>:= <любое выражение или константа>.

Булевы операторы:

NOT, AND, OR, XOR.

Операторы сравнения:

<, >, =, <=, >=.

Оператор RETURN

RETURN завершает выполнение текущей программы. В блоке операций на языке SFC оператор RETURN обеспечивает конец выполнения блока.

Оператор IF-THEN-ELSE

If <условие> then <список операторов 1>: end_if.

Составление алгоритма и разработка программы пуска, нормального останова и выхода в режим «Магистраль» ГПА-Ц-16

Запуск ГПА

Пуск осуществляется автоматически. При наличии предпусковых условий. На пульте управления нажать на кнопку «Пуск» и проконтролировать по индикации выход агрегата на режим «Кольцо» в следующей последовательности:

- звуковой сигнал в отсек двигателя и нагнетателя в течение 10 с;
- включение индикации «Алгоритм автоматического пуска»;
- включение питания электродвигателя стартера;
- включение пускового насоса смазки (ПНС);
- включение пускового насоса уплотнения (ПНУ);
- при достижении перепада давления «масло – газ» больше 0,12 МПа открытие крана № 4;
- по истечении 20 с закрытие крана № 5;
- открытие крана № 1;
- закрытие крана № 4;
- открытие клапана Amot;
- включение индикации «Запуск ГПА»;
- сигнал на включение электродвигателя стартера;
- полностью открыт АПК (клапан № 6а);
- включается зажигание в камере сгорания.

Турбина начинает раскручиваться. Если не раскрутилась за 30 секунд, то срабатывает аварийная сигнализация.

В момент срабатывания конечного выключателя раскрутки ТВД больше 2600 об./мин.:

- снятие питания с электродвигателя стартера;
- включение вентиляторов воздухоочистительного устройства (ВОУ);
- включение вентиляторов обдува двигателя;
- выключается агрегата зажигание (АЗ) в КС.

При увеличении оборотов ТВД до 5900 об./мин. пусковая последовательность заканчивается:

- отключение индикации – «Запуск ГПА»;
- включение индикации – «Кольцо».

Магистраль

Переход в режим «выход на магистраль»:

- оператор выбирает на панели управление кнопку «Магистраль»;
- режим «Кольцо» сменяется режимом «Переход кольцо-магистраль»;
- открывается кран 2;
- после прихода сигнала «Кран 2 открыт» закрывается кран ба.

При полном закрытии крана ба обобщенный режим «Переход кольцо-магистраль» сменяется режимом «Работа в магистраль».

Нормальный останов ГПА

Вывод ГПА в режим «Нормальный останов» осуществляется из режима «Кольцо» или «Магистраль» нажатием кнопки «Нормальный останов» на панели управление. При этом САУ отработывает следующую последовательность действий:

- если ГПА находился в режиме «Работа в магистраль», происходит переход из магистрали в кольцо;
- после того, как ГПА перейдет в кольцо включается «РЧВ вниз» и устанавливается таймер 300 секунд;
- охлаждение двигателя продолжается 300 секунд, после чего устанавливается режим «Останов двигателя» и выдаются команды на закрытие крана 12 и СК, открытие крана 9;
- после того, как закроется кран 12 и СК и обороты ТДВ снизятся до 1300 об./мин., а обороты СТ до 300 об./мин., закрываются краны 6 и 1 и включается 300-секундный таймер «Охлаждение узлов ГПА»;
- устанавливается режим «Стравливание контура», открывается кран 5. Давление на входе и выходе нагнетателя устанавливается ниже 0,5 МПа;
- по окончании стравливания выставляется режим «Охлаждение узлов ГПА», отключается ПНУ, вентиляторы воздухоочистительного устройства и обдува двигателя;
- по достижению СТ нулевых оборотов отключается ПНС;
- по достижению ТВД нулевых оборотов режим нормального останова ГПА оканчивается, устанавливается обобщенный режим «Холодный резерв без газа».

Выходные переменные

Питание электропривода топливного клапана	U_{Amot}
Открыть клапан № 6а	U_{6a_o}
Открыть кран № 1	U_{kr1_o}
Закрыть кран № 1	U_{kr1_z}
Открыть кран № 4	U_{kr4_o}
Закрыть кран № 4	U_{kr4_z}
Открыть кран № 5	U_{kr5_o}
Закрыть кран № 5	U_{kr5_z}
Включить питание электропривода стартера	U_{star_on}
Включить электропривод вентиляторов ВОУ	U_{vou_on}
Включить вентилятор обдува двигателя	U_{vent_on}
Отключить электропривод вентиляторов ВОУ	U_{vou_off}
Отключить вентилятор обдува двигателя	U_{vent_off}
Включить ПНС	U_{pns_on}
Включить ПНУ	U_{pnu_on}

Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о земле

Продолжение выходных переменные

Выключить ПНС	$U_{\text{PNU_off}}$
Выключить ПНУ	$U_{\text{PNU_off}}$
Включить электродвигатель стартера	$U_{\text{star_go}}$
Включить зажигание в камере сгорания	$U_{\text{ks_on}}$
Отключить агрегат зажигания в камере сгорания	$U_{\text{ks_off}}$
Включить индикацию «Алгоритм автоматического пуска»	$I_{\text{a_pusk}}$
Включить индикацию «Запуск ГПА»	$I_{\text{gpa_on}}$
Отключить индикацию «Запуск ГПА»	$I_{\text{gpa_off}}$
Включить индикацию «Кольцо»	$I_{\text{kol_on}}$
Включить индикацию «Переход кольцо-магистраль»	$I_{\text{mag_on}}$
Открыть кран № 2	$U_{\text{kr2_o}}$
Закрыть клапан № 6а	$U_{\text{6a_z}}$
Включить индикацию «Работа в магистраль»	$I_{\text{go_mag}}$
Включить индикацию «Нормальный останов»	$I_{\text{no_mag}}$
Открыть клапан № 6а	$U_{\text{6a_o}}$
Закрыть кран № 2	$U_{\text{kr2_z}}$
Включить «РЧВ вниз»	$U_{\text{rcv_on}}$
Включить индикацию «Останов двигателя»	$I_{\text{stop_dv}}$
Закрыть кран № 12	$U_{\text{kr12_z}}$
Закрыть кран ск	$U_{\text{krsk_z}}$
Открыть кран № 9	$U_{\text{kr9_o}}$
Закрыть кран № 6	$U_{\text{kr6_z}}$
Закрыть кран № 1	$U_{\text{kr1_z}}$
Включить индикацию «Стравливание контура»	$I_{\text{stk_on}}$
Открыть кран № 5	$U_{\text{kr5_o}}$
Включить индикацию «Охлаждение узлов ГПА»	$I_{\text{gpa_ohl}}$
Включить индикацию «Холодный резерв без газа»	$U_{\text{bez_g}}$
Таймерные переменные	
Включить таймер на 10 секунд	T_1
Включить таймер на 20 секунд	T_2
Включить таймер на 30 секунд	T_3
Включить таймер на 300 секунд	T_4
Включить таймер «Охлаждение узлов ГПА» на 300 секунд	T_5
Входные переменные	
Команда «Пуск»	PUSK
Сигнал об окончании выдержки времени 10 секунд	Z_1
Сигнал об окончании выдержки времени 20 секунд	Z_2

Окончание выходные переменные

Сигнал об окончании выдержки времени 30 секунд	Z_3
Сигнал об окончании выдержки времени 300 секунд	Z_4
Сигнал об окончании выдержки времени 300 секунд	Z_5
Перепад давления в системе «Масло – газ» 0,12 МПа	dP_0.12
Кран № 4 открыт	X_{kr4_o}
Кран № 1 открыт	X_{kr1_o}
Кран № 5 закрыт	X_{kr5_z}
Кран № 4 закрыт	X_{kr4_z}
Кран Amot открыт	X_{Amot_o}
Частота вращения вала силовой турбины 2600 об./мин.	n2600
Частота вращения вала силовой турбины 5900 об./мин.	n5900
Команда «Магистраль»	X_{mag}
Сигнал на открытие крана №2	X_o_kr2
Кран № 2 открыт	X_{kr2_o}
Клапан № 6а закрыт	X_{6a_z}
Переход в режим «Кольцо»	X_{go_kol}
Команда «Работа в магистраль»	X_{no_mag}
Сигнал на открытие клапана № 6а	X_o_6a
Клапан № 6а открыт	X_{6a_o}
Сигнал на закрытие крана № 2	X_z_kr2
Кран № 2 закрыт	X_{kr2_z}
Переключение на кольцо	X_{kol}
Частота вращения вала силовой турбины 300 об./мин.	n300
Частота вращения вала ТВД 1300 об./мин.	n1300
Давление на входе и выходе нагнетателя 0,5 МПа	dP_0.5
Частота вращения вала силовой турбины 0 об./мин.	n_{st}
Частота вращения вала ТВД 0 об./мин.	n_{TDV}

Литература

1. Алиев В.К., Савенок О.В., Сиротин Д.Г. Влияние надёжности нефтепромыслового оборудования на экологическую безопасность разработки северных нефтегазовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГУ», 2016. – 135 с.
2. Алиев В.К., Савенок О.В., Сиротин Д.Г. Повышение износостойкости сопряжённых деталей нефтепромыслового и бурового оборудования: учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 78 с.
3. Алиев В.К., Савенок О.В., Сиротин Д.Г. Экологическая безопасность при разработке северных нефтегазовых месторождений. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 128 с.
4. Ревизин Б.С., Ларионов И.Д. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа. – М. : Недра, 1991. – 200 с.
5. Савенок О.В. Оптимизация функционирования эксплуатационной техники для повышения эффективности нефтепромысловых систем с осложнёнными условиями добычи. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – 336 с.
6. Седых З.С. Эксплуатация ГПА с газотурбинными приводами. – М. : Недра 1990. – 201 с.
7. Берман Р.Я. [и др.]. Современные цеховые системы автоматизации газокомпрессорной станции // Мир компьютерной автоматизации. – 1997. – № 3. – С. 93–96.

8. Елисеев В.В. [и др.]. Комплекс МСКУ М на объектах газовой промышленности // Промышленные АСУ и контроллеры. – 1999. – № 9. – С. 63–65.
9. Захаров Н.А. Система управления мнемощитом компрессорной станции «Тулла» // Промышленные АСУ и контроллеры. – 1999. – № 10. – С. 23–26.
10. Ивченко В.Д., Самарин А.И. Построение отказоустойчивых систем автоматического управления газотурбинными двигателями // Приборы и системы управления. – 1998. – № 11. – С. 66–68.
11. Кусов Г.В., Савенок О.В. Автоматизированная система управления установкой подготовки попутного нефтяного газа : Современные тенденции развития нефтегазовой и машиностроительной отраслей / сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции (25 мая 2016 года, г. Пермь); под общ. ред. Т.М. Сигитова. – Пермь : ИП Сигитов Т.М., 2016. – С. 21–29.
12. Кусов Г.В., Савенок О.В. Модернизация низкотемпературных сепараторов на Уренгойском газоконденсатном месторождении // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 179–197.
13. Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ системы подготовки газа на Уренгойском газоконденсатном месторождении (на примере УКПГ-15) / Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции «Теоретические и прикладные исследования в области естественных, гуманитарных и технических наук» (17 июня 2016 года, г. Прокопьевск). – Прокопьевск, 2016. – С. 84–95.
14. Кусов Г.В., Савенок О.В. Влияние систем автоматизации и контроля на надёжность функционирования систем сбора, подготовки и транспорта газа / Сборник статей международной исследовательской организации «Cognitio» по материалам XII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века» (31 июля 2016 года, г. Москва). – М.: Международная исследовательская организация «Cognitio», 2016. – С. 45–48.
15. Кусов Г.В., Савенок О.В. Обоснование применимости экспоненциального закона распределения при оценке надёжности блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 8. – С. 158–165.
16. Кусов Г.В., Савенок О.В., Бекетов С.Б. Выбор и обоснование показателей надёжности блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 4. – С. 8–12.
17. Кусов Г.В., Богатырёв В.С., Савенок О.В. Классификация отказов и анализ работы технологического нефтепромыслового оборудования в условиях Крайнего Севера // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 7/2016. – С. 64–68.
18. Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ эффективности подготовки газа на УКПГ-9 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Технологическая часть // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 3. – С. 40–51.
19. Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ эффективности подготовки газа на УКПГ-9 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Модернизация аппаратов осушки газа // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 3. – С. 52–72.
20. Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ системы сбора и подготовки газа Бованенковского месторождения / Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XX Международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке» (13 декабря 2016 года, г. Харьков). – Харьков: научно-информационный центр «Знание». – Ч. 2. – С. 22–29.
21. Кусов Г.В. Характеристика системы сбора и подготовки газа на Медвежьем месторождении // Научный форум. Сибирь. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 31–33.
22. Кусов Г.В., Савенок О.В., Одунлами Казим Алан. Система сбора и подготовки газа на примере УКПГ-13 Уренгойского газоконденсатного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 4. – С. 120–133.
23. Кусов Г.В., Бекетов С.Б., Савенок О.В. Исследование надёжности блочных автоматизированных технологических установок // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 1. – С. 47–50.
24. Кусов Г.В., Бекетов С.Б., Савенок О.В. Оценка и пути повышения надёжности систем автоматизации и контроля нефтегазодобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 1. – С. 127–132.
25. Кусов Г.В. [и др.]. Анализ обустройства Вынгайхинского нефтегазового месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 1. – С. 89–110.
26. Кусов Г.В., Савенок О.В. Реконструкция Южно-Ягунского нефтяного месторождения // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 133–141.
27. Кусов Г.В., Бекетов С.Б., Савенок О.В. Обоснование показателей надёжности и эффективности работы средств автоматизации систем сбора и подготовки газа // Наука и техника в газовой промышленности. – 2017. – № 2 (70). – С. 55–62.

28. Кусов Г.В. Анализ технологических решений утилизации попутного нефтяного газа // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 158–182.
29. Кусов Г.В., Савенок О.В. Низконапорный нефтяной газ: объёмы добычи и осложнения, возникающие при его сборе и подготовке // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 69–76.
30. Кусов Г.В., Савенок О.В. Принцип сбора и подготовки низконапорного нефтяного газа с применением гидроприводных струйных компрессорных агрегатов // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 77–82.
31. Кусов Г.В., Савенок О.В. Технологии сбора и подготовки низконапорного нефтяного газа с применением гидроприводных струйных компрессорных агрегатов на примере нефтесборного пункта «Романово» (г. Калининград) // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 83–88.
32. Никоненко И.С., Балавин М.А., Швабский В.Л. Агрегатно-цеховой комплекс управления газоконпрессорным цехом // Приборы и системы управления. – 1998. – № 10. – С. 15–19.
33. Продовиков С.Н. [и др.]. Опыт автоматизации сложных промышленных объектов на примере газоконпрессорных станций // Современные технологии автоматизации. – 1997. – № 2. – С. 66–68.
34. Савенок О.В. Перспективы рационального использования попутного нефтяного газа в России // Газовая промышленность. Спецвыпуск журнала «Газовая промышленность»: Вузовская наука – нефтегазовой отрасли. – 2013. – № 692/2013. – С. 91–95.
35. Савенок О.В., Шарыпова Д.Д. Методы и технологии переработки и эффективного использования попутного нефтяного газа // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 10/2013. – С. 64–71.
36. Savenok O.V., Kusov G.V., Likhacheva O.N., Al Maari Majd. To the question about geological and environmental problems of exploration and operational drilling for oil and gas // International Educational Applied Scientific Research Journal (IEASRJ). – Nov 2017. – Volume 2. – Issue 11. – P. 6–11.

References

1. Aliyev V.K., Savenok O.V., Sirotin D.G. Influence of reliability of oilfield equipment on ecological safety of development of northern oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House FGBOU VPO «KubGTU», 2016. – 135 p.
2. Aliyev V.K., Savenok O.V., Sirotin D.G. Increase of wear resistance of the associated parts of oilfield and drilling equipment: a training manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 78 p.
3. Aliyev V.K., Savenok O.V., Sirotin D.G. Environmental safety in development of northern oil and gas fields. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 128 p.
4. Revizin, B.S., Larionov I.D. Gas-turbine plants with compressors for gas transport. – M. : Nedra, 1991. – 200 p.
5. Savenok O.V. Optimization of Functioning of Operating Equipment for Increase of Efficiency of Oilfield Systems with Difficult Production Conditions. – Krasnodar : South Publishing House, 2013. – 336 p.
6. Sedykh Z.S. Operation of GPA with gas turbine drives. – M. : Nedra 1990. – 201 p.
7. Berman R.Y. [et al.]. Modern Shop Automation Systems for Gas Compressor Station // World of Computer Automation. – 1997. – № 3. – P. 93–96.
8. Eliseev V.V. [et al.]. MSCM complex on the objects of gas industry // Industrial ACS and controllers. – 1999. – № 9. – P. 63–65.
9. Zakharov N.A. Mnemonic board control system of «Tulla» compressor station // Pro-industrial ACS and controllers. – 1999. – № 10. – P. 23–26.
10. Ivchenko V.D., Samarin A.I. Construction of fail-safe automatic control systems for gas turbine engines // Devices and control systems. – 1998. – № 11. – P. 66–68.
11. Kusov G.V., Savenok O.V. Automated control system for associated petroleum gas treatment unit: Modern trends in the development of oil and gas and machine-building industries / collection of scientific papers on the materials of the I International Scientific Conference (May 25, 2016, Perm); under general editorship T.M. Sigitov. – Perm : IE Sigitov T.M., 2016. – P. 21–29.
12. Kusov G.V., Savenok O.V. Modernization of the low-temperature separators at the Urengoy gas condensate field // Nauka. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin). – 2016. – № 2. – P. 179–197.
13. Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of the gas treatment system at the Urengoy gas condensate field (by the example of UKPG-15) / Collection of scientific papers on the materials of All-Russian scientific-practical conference «Theoretical and applied research in the field of natural, humanitarian and technical sciences». (June 17, 2016, Pro-Kopievsk). – Prokopyevsk, 2016. – P. 84–95.
14. Kusov G.V., Savenok O.V. The influence of automation and control systems on the reliability of the systems of collection, preparation and transport of gas / Collection of articles of the international research organization «Cognitio» on the materials of the XII International Scientific Conference «Actual problems of science of the XXI century» (July 31, 2016, Moscow). – M. : International Research Organization «Cognitio», 2016. – P. 45–48.

15. Kusov G.V., Savenok O.V. Justification of the exponential distribution law applicability for the reliability assessment of the block automated oilfield equipment // *Gornyi Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. – 2016. – № 8. – P. 158–165.
16. Kusov G.V., Savenok O.V., Beketov S.B. Selection and justification of the reliability indicators of the block automated oilfield equipment // *Equipment and technologies for oil and gas complex*. – 2016. – № 4. – P. 8–12.
17. Kusov G.V., Bogatyrev V.S., Savenok O.V. Failure classification and analysis of the technological oilfield equipment operation in the Far North conditions // *Oil. Gas. Innovations*. – 2016. – № 7/2016. – P. 64–68.
18. Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of Gas Treatment Efficiency at Gas Treatment Unit-9 of Yamburg Oil and Gas Condensate Field. Technological part // *Science. Technique. Technologiya (Polytechnical bulletin)*. – 2016. – № 3. – P. 40–51.
19. Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of Gas Treatment Efficiency at Gas Treatment Unit-9 of Yamburg Oil and Gas Condensate Field. Upgrading of the gas drying apparatuses // *Science. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2016. – № 3. – P. 52–72.
20. Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of gas collection and preparation system of Bovanenkovo local birth / Collection of articles of scientific-information center «Znaniye» on the materials of the XX International distance learning scientific-practical conference «Development of science in the XXI century». (December 13, 2016, Kharkov). – Kharkov: Scientific-Information Center «Znanie». – Part 2. – P. 22–29.
21. Kusov G.V. Characteristics of gas collection and preparation system at the Bear deposit // *Scientific forum. Siberia*. – 2016. – Part 2. – № 4. – P. 31–33.
22. Kusov G.V., Savenok O.V., Odunlami Kazim Alan. System of gas gathering and preparation on the example of UKPG-13 of Urengoy gas condensate field // *Nauka. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2016. – № 4. – P. 120–133.
23. Kusov G.V., Beketov S.B., Savenok O.V. Reliability research of the block automated bath technological installations // *Equipment and technologies for oil-and-gas complex*. – 2017. – № 1. – P. 47–50.
24. Kusov G.V., Beketov S.B., Savenok O.V. Estimation and ways to increase the reliability of the systems of automation and control of oil and gas production // *Gornyi information-analytical bulletin (scientific and technical journal)*. – 2017. – № 1. – P. 127–132.
25. Kusov G.V. [et al.]. Analysis of arrangement of Vyngayakhinskoe oil and gas field // *Nauka. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2017. – № 1. – P. 89–110.
26. Kusov G.V., Savenok O.V. Reconstruction of the Yuzhno-Yagunskoye oil field // *Bulatovskie readings*. – 2017. – Part 2. – P. 133–141.
27. Kusov G.V., Beketov S.B., Savenok O.V. Justification of the reliability and efficiency indicators of the means of automation of the gas gathering and preparation systems operation // *Science and technology in gas industry*. – 2017. – № 2 (70). – P. 55–62.
28. Kusov G.V. Analysis of the associated petroleum gas utilization technological solutions // *Science. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2020. – № 1. – P. 158–182.
29. Kusov G.V., Savenok O.V. Low-pressure oil gas: volumes of production and complications arising during its collection and preparation // *Bulatovskie readings*. – 2020. – Part 4. – P. 69–76.
30. Kusov G.V., Savenok O.V. Principle of collecting and preparation of low pressure oil gas with the use of the hydraulic jet compressor units // *Bulatovskie readings*. – 2020. – Part 4. – P. 77–82.
31. Kusov G.V., Savenok O.V. Technologies of collecting and preparation of low pressure oil gas with the use of hydraulic jet compressor units on the example of oil gathering station «Romanovo» (Kaliningrad) // *Bulatovskie readings*. – 2020. – Part 4. – P. 83–88.
32. Nikonenko I.S., Balavin M.A., Shvabsky V.L. Aggregate and workshop complex of the gas-compressor shop control // *Devices and control systems*. – 1998. – № 10. – P. 15–19.
33. Prodovikov S.N. [et al.]. Experience of automation of complex industrial objects on the example of gas compressor stations // *Modern technologies of automation*. – 1997. – № 2. – P. 66–68.
34. Savenok O.V. Prospects for rational use of associated petroleum gas in Russia // *Gas industry. Special issue of the journal «Gazovaya Promyshlennost»: Higher education science – oil and gas industry*. – 2013. – № 692/2013. – P. 91–95.
35. Savenok O.V., Sharypova D.D. Methods and technologies of processing and efficient use of associated petroleum gas // *Petroleum. Gas. Innovations*. – 2013. – № 10/2013. – P. 64–71.
36. Savenok O.V., Kusov G.V., Likhacheva O.N., Al Maari Majd. To the question about geological and environmental problems of exploration and operational drilling for oil and gas / *International Educational Applied Scientific Research Journal (IEASRJ)*. – Nov 2017. – Volume 2. – Issue 11. – P. 6–11.