



электрoэнергия для нефтегазового месторождения

Д.А. Капралов – ООО «Турбомашины» Электростанция, работающая на попутном нефтяном газе, решает у заказчика две задачи - обеспечивает дешевой энергией и утилизирует попутный газ, сжигающийся ранее в факелах из-за дороговизны транспортировки к месту переработки. Газотурбинные электростанции, использующие попутный газ в качестве топлива, размещаются в непосредственной близости от участков нефтедобычи. В связи с этим исключается строительство объектов газосбора, трубопроводов, компрессорных станций. Технология сжигания топлива в камерах сгорания газотурбинных установок обеспечивает низкий уровень эмиссии, что делает ГТЭС экологически чистыми.

Сургутнефтегаз является лидером в использовании ГТЭС различной мощности, эксплуатирующихся на попутном нефтяном газе. Компания поставила перед собой задачу сократить к 2007 году на 25% закупку электроэнергии у сторонних производителей за счет ввода в эксплуатацию собственных электростанций.

В настоящее время эксплуатируются семь ГТЭС, в том числе на Контитлорском месторождении, на Бит-

темском м/р, на Лянторском м/р (КНС-11, КНС-17), Лукъявинском м/р, Русскинском м/р Тянском м/р. Их мощности обеспечивают до 20% общей потребности компании в электроэнергии. В 2005 г. компания приступила к реализации второго этапа крупномасштабного проекта по выработке собственной электроэнергии: начато строительство еще шести газотурбинных электростанций. Ведется также строительство двух газопоршневых электро-

станций (на Восточно-Еловом и Талаканском месторождениях). В перспективе в 2007-2012 гг. планируется строительство еще четырех ГТЭС.

Согласно программе развития собственных генерирующих мощностей, в 2002 году ОАО «Сургутнефтегаз» провело конкурс на поставку энергетического оборудования для многоагрегатных электростанций общей мощностью 156 МВт. Обязанности генподрядчика компания

взяла на себя, опираясь на опыт строительства газотурбинной электростанции «Конитлорская».

Генеральным проектировщиком объекта была выбран СургутНИПИ-нефть, который координировал работу с субподрядными проектными организациями и осуществлял контроль за выполнением сроков, разрабатывал ПСР на блоки подготовки топливного газа, выполнял проектирование объектов инженерного обеспечения и т.д.

Проектировщиком энергоцеха стал УралВНИПИэнергопром. Компания разрабатывала электрическую и технологическую схему главного корпуса, схему автоматизации, компоновку оборудования.

Поставщиком основного оборудования и систем станций была определена инжиниринговая компания «Искра-Энергетика» – совместное предприятие НПО «Искра» и R&W. Этот проект не был принципиально новым для компании: газотурбинные установки ГТУ-12ПГ уже были установлены на КС 42 и 44 для привода нагнетателя.

Ввод пяти станции в эксплуатацию осуществлялся поэтапно в течение 2004 года.

В данной статье на примере ГТЭС-24 (КНС-11 Лянторского месторождения) рассмотрено устройство основных составляющих энергоблока ЭГЭС-12 и других стационарных систем.

Энергоблоки находятся в легкоборных зданиях, собранных из сэндвич-панелей. Такая технология позволяет обеспечить нормативный уровень шума и теплоизоляции, а также организовать максимально удобную эксплуатацию оборудования в условиях северного климата, где зимние температуры опускаются ниже минус 50 °С. Так, в данном проекте предполагалось, что температура внутри зала не должна опускаться менее +5 °С и должна поддерживаться даже при возникновении аварийных ситуаций. С этой целью станция оснащена миникотельной.

Одной из важнейших задач, поставленных заказчиком, была высокая степень взрывобезопасности – в

соответствии с ГОСТ. Оборудование станции имеет все разрешительные документы для эксплуатации на опасных объектах:

- получены разрешения Гостехнадзора на применение ЭГЭС-12С на опасных производственных объектах;
- все оборудование сертифицировано на соответствие требованиям промышленной безопасности в Государственных органах РФ;
- используется оборудование во взрывозащищенном исполнении (например, для ЭГЭС-12С, блок силовой с видом взрывозащиты IEx рх II T1);
- применяется система газообнаружения (при концентрации метана более 0,5% выдается предупредительный сигнал, при концентрации более 1% происходит автоматический останов агрегата).

Энергоцех (главный корпус) состоит из четырех основных помещений – машинный зал, пультовая, помещение для электрооборудования (реакторов, КРУ и РУ-0,4) помещение системы гидрозпуска.

Дожимная компрессорная станция (ДКС) и станция подготовки топливного газа находятся в отдельных зданиях. Здание подготовки топливного газа пристроено к энергоцеху. Блок газового оборудования – унифицированный. В нем осуществляются две степени сепарации газа, фильтрация в полнопоточном

фильтре с чистотой не менее 5 мкм.

Дожимная КС поднимает давление газа до 30 кг/см². При этом топливный газ нагревается до 100 °С, что на 30 °С превышает точку росы попутного нефтяного газа. В связи с этим осушка газа не осуществляется. ДКС выполнена на базе компрессоров фирмы «Торомонт» (Канада).

Базовыми конструктивными единицами энергоблока ЭГЭС-12 (фото 2) являются:

- силовой блок ЭГЭС-12С (БС), созданный на базе ГТУ-12ПГ-2, (производство НПО «Искра»);
- редуктор (производство компании Renk);
- синхронный турбогенератор ТС-12-2РУХЛЗ (ОАО «Привод»).

Энергоблок установлен на общий монолитный фундамент, система выхлопа и всасывания – на самостоятельном фундаменте за пределами энергоцеха.

Силовой блок (БС)

ЭГЭС-12С (фото 2) используется в качестве привода турбогенератора. В его состав входят:

- газотурбинная установка ГТУ-12ПГ-2 в комплекте с входным и выходным устройствами, элементами САУ ГТУ, системы запуска и трансмиссиями «ГТУ-редуктор» и «редуктор- турбогенератор»;
- шумотеплоизолирующий кожух (контейнер), который оснащен средствами контроля за состоя-

Фото 2. Энергоблок ЭГЭС-12 в цехе



нием БС, а также освещения и обогрева, элементами системы наддува и охлаждения ГТД и др.;

- воздухозаборная камера с сетчатым коком, защищающим проточный канал двигателя от попадания посторонних предметов.

В составе БС и в составе ГТУ применяется взрывобезопасное электрооборудование (обогреватели, освещение, датчики и сигнализаторы, извещатели, соединительные коробки и пр.). В корпусе силовой турбины ГТУ предусмотрена внутренняя продувка.

Дополнительным мероприятием по взрывобезопасности является применение газонепроницаемых панелей кожуха БС. Обеспечена блокировка дверей, чтобы исключить охлаждение ГТУ. Отсутствуют застойные и неvented зоны внутри оболочки блока. Установлены датчики контроля избыточного давления, расхода и температуры охлаждающего и наддувочного воздуха. Герметичность соединений исключает попадание выхлопных газов внутрь кожуха БС.

Газотурбинная установка ГТУ-12ПГ-2

Двухвальная установка простого открытого цикла создана на базе газотурбинного двигателя ПС-90ГП-1 (производство Пермского моторостроительного комплекса). Температура корпусов в ГТУ снижена за счет подачи дополнительного атмосферного воздуха под кожух уста-

Табл. 1 Основные параметры ГТУ

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Мощность на клеммах генератора при температуре воздуха на входе в не более +15 °С, кВт	12400
2	Кпд на клеммах турбогенератора, %, не менее	32,9
3	Частота вращения силовой турбины об/мин	6500
4	Частота вращения выходного вала редуктора ГТУ и вала турбогенератора, об/мин (с ⁻¹)	3000(50)
5	Удельный расход масла двигателя, г/кВт.ч	0,024
6	Температура выхлопных газов за силовой турбиной, °С	502
7	Расход выхлопных газов за силовой турбиной, кг/с	45,4
8	Расход топливного газа на номинальном режиме, нм ³ /ч – при теплотворной способности газа 47,58 МДж/нм ³ – при теплотворной способности газа 41,57 МДж/нм ³	2846,0 3257,5

новки. Расход воздуха – 10...12 м³/с.

Запуск ГТУ производится автоматически по заданному алгоритму. В комплексе работ по обеспечению взрывобезопасности электромеханический привод ВНА компрессора заменен гидравлическим. В качестве рабочего тела для запуска используется гидрожидкость.

Впервые в истории отечественного машиностроения для запуска газотурбинной установки использован гидропривод. Запуск осуществляется гидромотором, который устанавливается на нижней коробке приводов двигателя.

Двигатель имеет модульную конструкцию. Модули газогенератора (ГГ) и силовой турбины (СТ) соединяются друг с другом по наружным фланцам на силовых корпусах. Собранный двигатель на подмоторной

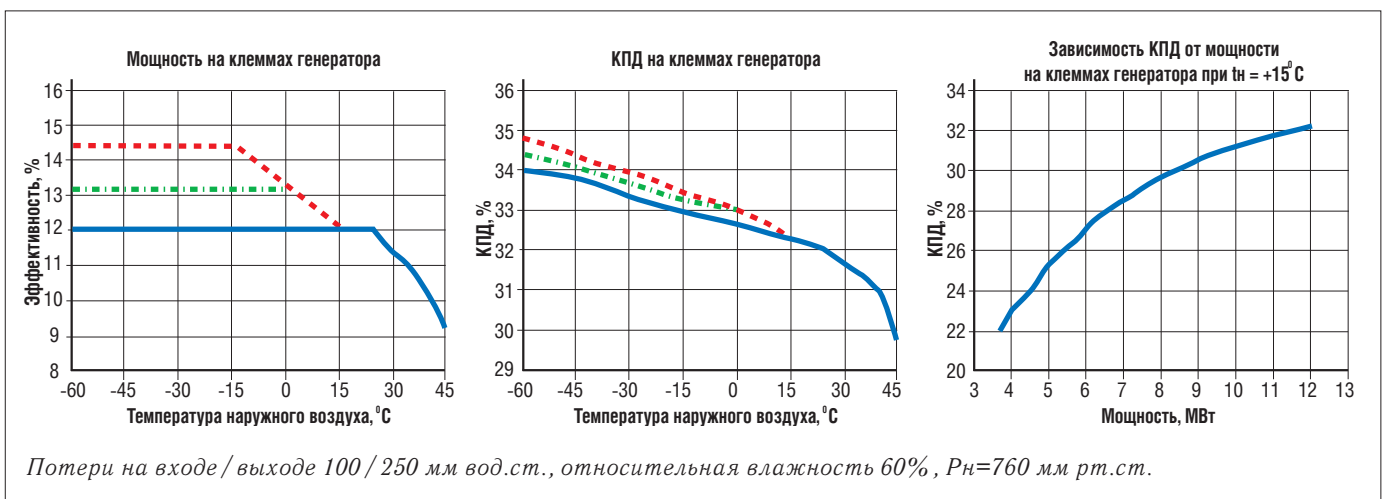
раме монтируется на силовой раме энергоблока.

На корпусе компрессора, турбины газогенератора и СТ предусмотрены специальные смотровые лючки для визуально-оптического контроля газовоздушного тракта двигателя. Жаровые трубы камеры сгорания также доступны для осмотра.

Из проточной части за воздушным компрессором ГТД предусмотрены отборы подогретого сжатого воздуха в противообледенительную систему двигателя и в систему подогрева циклового воздуха ВОУ.

В системе регулирования подачи топлива к ГТУ последовательно установлены два отсечных быстродействующих газовых клапана типа GSOV25 фирмы Woodward. Стопорный клапан открывается при достижении условий зажигания и закрывается при всех видах останова. При

Рис 1. Климатические характеристики ГТУ



исчезновении электропитания ГТУ и/или потере управляющего сигнала оба отсечных клапана прекращают подачу топливного газа.

САУ ГТУ (ОАО «Стар») обеспечивает контроль и управление двигателем на всех режимах работы.

В газотурбинном двигателе применен осевой 13 ступенчатый компрессор. В его составе – регулируемый входной направляющий аппарат (НА) и поворотные НА 1-й и 2-й ступеней, а также клапаны перепуска воздуха из-за промежуточных ступеней и последней ступени компрессора. Детали проточной части компрессора имеют эрозионно-стойкое покрытие.

Камера сгорания – трубчато-кольцевая, с двенадцатью жаровыми трубами и общим газосборником. Осевая двухступенчатая турбина газогенератора имеет усиленный корпус. При ее изготовлении использованы коррозионно-стойкие и жаропрочные материалы.

В двигателе предусмотрен корпус промывки с коллекторами и форсун-

ками системы промывки газозооного тракта. Дополнительно он оснащен датчиками измерения параметров воздуха на входе в компрессор и датчиком противообледенительной системы.

Силовая турбина – осевая, двухступенчатая, имеющая с ротором газогенератора только газодинамическую связь. Охлаждение корпусов турбины осуществляется путем продувки внутренних каналов воздухом, отбираемым от промежуточной ступени компрессора. Корпус свободной турбины стыкуется с выходным устройством с помощью двух поясов упругих пластин, которые перекрывают щели между кожухами опоры СТ и выходным устройством.

На рис. 1, 2, 3 представлены климатические характеристики ГТУ. Так, двигатель сохраняет свои параметры до температуры входящего воздуха 15 °С, что актуально для летних температур Сибири.

Кожух силового блока

Кожух ГТУ представляет собой каркасно-панельную конструкцию, устанавливаемую на единую раму силового блока. В качестве шумотеплоизолирующего наполнителя панелей используются маты из стеклоткани с негорючим наполнителем.

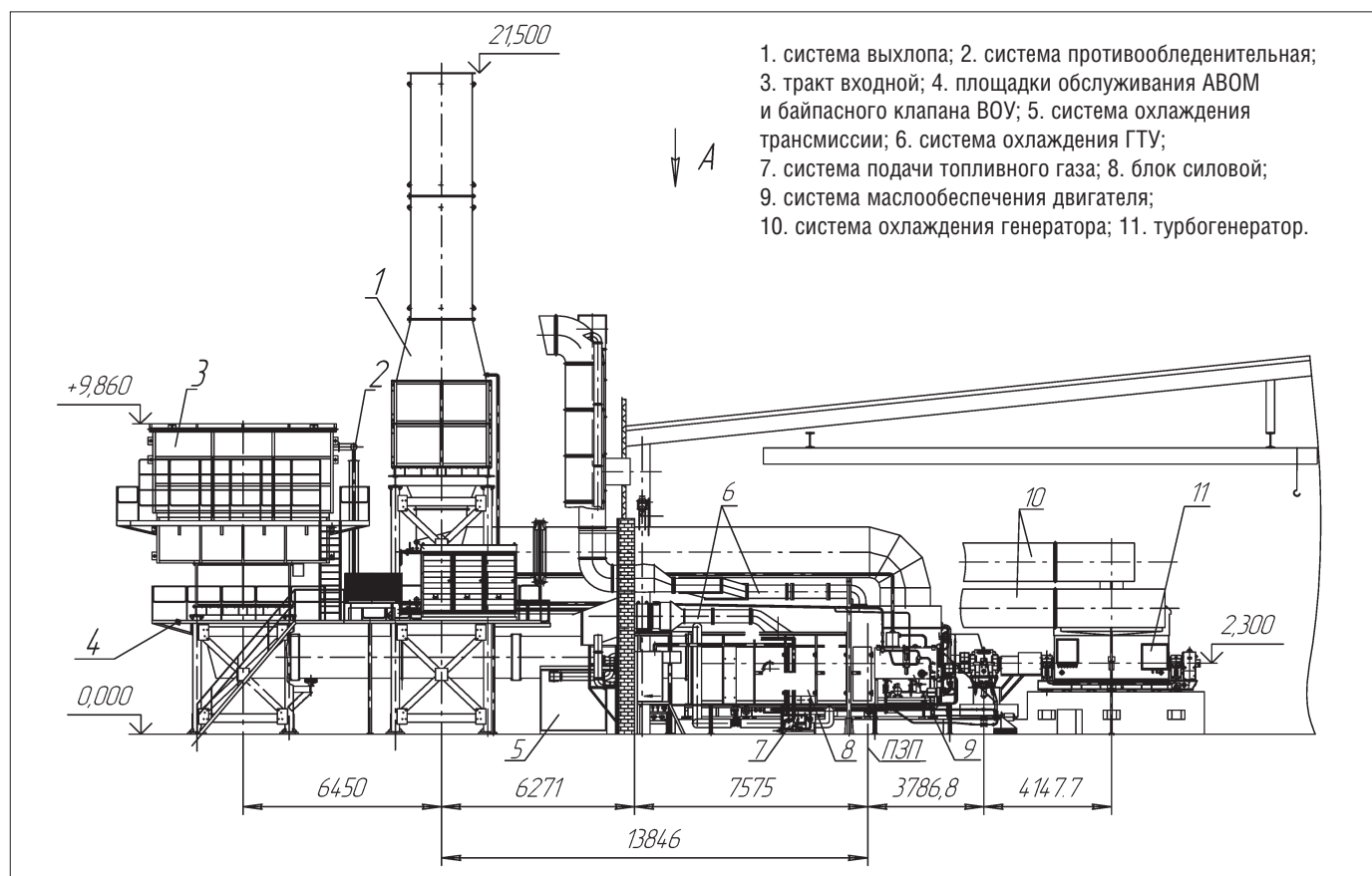
Конструкция кожуха обеспечивает доступ обслуживающего персонала к двигателю и боковую выкатку двигателя наружу. Крыша двигательной части кожуха – съёмная.

Турбогенератор

В составе энергоблока применен синхронный двухполюсный турбогенератор ТС-12-2РУХЛЗ с бесщеточной диодной цифровой системой возбуждения, со встроенными трансформаторами тока и напряжения. В процессе реализации проекта генератор был несколько доработан: улучшена работа лабиринтных уплотнений, отрегулирована работа масляного клина в подшипниках скольжения. Система смазки – циркуляционная, под давлением.

Турбогенератор имеет воздуш-

Рис 2. Газотурбинный энергоблок ЭГЭС-12С «Урал» (вид сбоку)



ную систему охлаждения по разомкнутому циклу с возможностью рециркуляции. Режим рециркуляции обеспечивается электроприводными регулирующими клапанами. Вентиляторы охлаждающего воздуха установлены на валу ротора. В качестве охлаждающего подается атмосферный воздух, подготовленный в блоке воздухоочистки на базе циклонных элементов. Система пожаротушения – водяная.

Станция работает параллельно с энергосистемой и не имеет резервного источника электропитания. В случае возникновения критической ситуации (выход сети из строя) возможны проблемы с выбегом генератора, так как нечем запитать электронасосы маслосистемы.

Редуктор

В составе энергоблока применен одноступенчатый редуктор на 6500...3000 об/мин. Он служит для снижения частоты вращения ротора силовой турбины до частоты вращения ротора турбогенератора.

Зубчатые колеса выполнены из легированной стали, рабочая поверхность зуба закалена и зацементирована. Корпус – сварной, маслонепроницаемый, с подшипниками скольжения. Система смазки зубчатых колёс и подшипников – принудительная, циркуляционная.

Контроль за вибрационным состоянием двигателя, редуктора и генератора осуществляет система виброконтроля на базе технических средств серии 3500 фирмы Bentley Nevada. Датчики вибрации поставляются в составе ГТУ, редуктора и генератора. Один электронный блок системы контроля вибрации поставляется на два или три энергоблока и размещается в одном из шкафов САУ.

Системы маслообеспечения

В составе ЭГЭС-12С применены две гидравлически не связанные между собой системы маслообеспечения: газотурбинного двигателя и объединенная система редуктора и турбогенератора.

Обе маслосистемы – принудительные, циркуляционные, исполь-

зуют масло МС-8П и ТП-22. Все элементы, за исключением АВОМ, расположены рядом с энергоблоком. При работе ГТД подача и откачка масла от опорно-уплотнительных узлов осуществляется маслососами, имеющими привод от коробки приводов двигателя.

Система маслообеспечения редуктора и генератора включает в себя блок маслоснабжения (БМС); аппарат воздушного охлаждения масла, установленный на линии подачи масла к опорам редуктора и генератора и др. Рабочий объем БМС – 3700 литров, он обеспечивает работу оборудования в течение 3200 часов без дозаправки.

Заправка маслобаков производится от стационарной системы. Тонкость фильтрации составляет 10 мкм. Для визуального контроля уровня масла на маслобаке установлен указатель уровня с градуированной шкалой. Маслобак разделен на два отсека – для грязного и очищенного масла. Маслобак по требованию заказчика выполнен плоским, так как находится выше нулевой отметки, но ниже опор.

Воздухоочистительное устройство (ВОУ)

Очистка воздуха в ВОУ имеет две ступени: в блочных мультициклонных фильтрах и тонкая очистка в тканевых фильтрах.

Воздухоочистительное устройство оснащено байпасными клапанами, которые открываются при предельном значении перепада давления в ступенях очистки. Необходимость в техобслуживании определяется по перепаду давления циклонной ступени очистки. ВОУ рассчитано на совместную работу с системой подогрева циклового воздуха, которая предотвращает обледенение элементов воздухоочистительного устройства.

Горячий воздух для системы подогрева подается от 13-й ступени компрессора ГТУ. Система включается и выключается автоматически, по сигналу САУ энергоблока или дистанционно – с пульта управления энергоблоком.

Внутри корпуса воздухоочисти-

тельного устройства со стороны всасывания размещен шумоглушитель. Для работы ВОУ не требуется затрат электроэнергии.

Система выхлопа

Выхлоп ГТУ – вертикальный, осевой. В состав системы входят выхлопная труба высотой 20 метров, шумоглушитель выхлопа, компенсаторы тепловых деформаций, выхлопной газоход. Шумоглушение осуществляется с помощью кассет, установленных в шахматном порядке.

Газоход, соединяющий выхлопное устройство силового блока с шумоглушителем и выхлопной трубой, выполнен трехслойным (сталь – звукотеплоизоляционные маты – сталь). В качестве изоляционного материала используется базальтовое стекловолокно.

Для осмотра внутренних поверхностей выхлопного тракта и проведения монтажных и ремонтных работ системы выхлопа предусмотрен люк, а для периодических замеров содержания вредных выбросов в выхлопных газах – штуцеры для ввода зонда.

Система охлаждения и вентиляции ГТУ

Система поддерживает требуемый температурный режим под кожухом силового блока и осуществляет его вентиляцию. Регулирование расхода воздуха на охлаждение и вентиляцию ГТУ обеспечивается частотным регулированием скорости вращения электродвигателей вентиляторов по командам САУ.

Применение звукотеплоизоляции снижает уровень шума и предотвращает образование конденсата на воздуховодах. Система работает по командам САУ энергоблока. Электротехническое оборудование в составе имеет взрывозащищенное исполнение.

Гидравлический запуск

Предназначен для запуска и/или проведения холодных прокруток газотурбинных установок (фото 3). Холодная прокрутка и запуск газотурбинной установки осуществ-

Табл. 2 Технические характеристики гидравлического мотора

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Номинальный рабочий объем, см ³	180
2	Максимальная частота вращения, об/мин: продолжительная/кратковременная	3600/4000
3	Максимальный расход рабочей жидкости, л/мин	648
4	Крутящий момент при перепаде давления, Н. м: $\Delta P=350/\Delta P=400$ атм	1001/1144
5	Номинальное давление, бар	400
6	Момент инерции вращающихся масс, кг.м	0,0220
7	Габаритные размеры L В Н, м, не более	0,294x0,194x0,278
8	Масса (без рабочей жидкости), кг	45

ляется непосредственно гидравлическим мотором. Он размещается горизонтально на коробке приводов двигателя в отсеке ГТУ.

Управление системой производится автоматически по управляющим сигналам от системы автоматического управления ГТУ и/или АСУ ТП объекта.

Запуск ГТУ производится в три этапа: первоначальный разгон турбины – холодная прокрутка в течение 100 с – продувка перед запуском 120 с. Давление изменяется ступенчато. Максимальный расход жидкости составляет 648 л/мин. Когда двигатель набирает 3000 об/мин, давление снижается и происходит розжиг топлива в камере сгорания. Минимальное время прогрева двигателя – 120 секунд.

Управление подачей гидравлической жидкости на мотор осуществляется клапанами перепуска по управляющим сигналам от САУ ГТУ и/или АСУ ТП объекта.

Низковольтное комплектное устройство (НКУ)

НКУ обеспечивает защиту всего электрооборудования от перегрузок, коротких замыканий, минимального напряжения, а также блокировку включения неисправного электрооборудования после срабатывания одной из защит. Кроме того, НКУ обеспечивает местную сигнализацию состояния электрооборудования и органы управления, включая каждый электродвигатель.

Система автоматического управления энергоблоком

САУ ЭГЭС-12С построена на базе современных средств цифровой микропроцессорной техники фирмы Siemens. Она представляет собой интегрированную систему, осуществляющую комплексное автоматическое управление и защиту основного и вспомогательного оборудования энергоблока.

Разработчик и изготовитель САУ – ЗАО «Искра-Энергетика».

В составе САУ энергоблока предусмотрен местный пульт управления. Он расположен на одном из шкафов и представляет собой сенсорный экран. Дистанционный контроль и управление работой энергоблока осуществляет оператор автоматизированного рабочего места в составе главного щита управления АСУ ТП ГТЭС. САУ ГТУ является подсистемой САУ энергоблока и

обеспечивает запуск газотурбинным двигателем, управление на всех режимах его работы и вынужденный останов.

Блоки управления и защиты реализованы на базе технических средств фирм Siemens или Octagon Systems, разработчик и изготовитель агрегатов – ОАО «Стар».

АСУ ГТЭС-24 изготовлена компанией Metco Automation. Это САУ верхнего уровня, которая управляет системами энергоблока, дожимной компрессорной станции, системы пожаротушения энергоцеха и др. Управление ГТЭС осуществляется с пультовой, находящейся над реакторным отделением.

ГТЭС-24 на КНС-11 – одна из пяти станций, ввод в эксплуатацию которых состоялся в 2004 году.

Это был самый масштабный из реализованных на сегодня энергетических проектов в нефтегазовом секторе России последнего десятилетия. Опыт монтажных и пусконаладочных работ во время создания станции выявил достаточно много сложных технических вопросов, которые находятся на стыке ответственности поставщиков различного оборудования и систем. Это еще раз подтвердило правильность подхода при реализации проектов под ключ, когда перед заказчиком за все отвечает только одна компания – начиная от строительства и заканчивая вопросами эксплуатации и ремонта оборудования.

Фото 3. Станция гидрозапуска ГТУ

