

Р. В. Агапов, А. Н. Калинин – ООО «ТехноСерв А/С»

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это один из видов «условно бесплатного» топлива, который все активнее используется российскими нефтедобывающими компаниями. В первую очередь, это связано с необходимостью обеспечения месторождений, как правило удаленных от мощных энергосистем, электрической энергией.

6 МВт на попутном нефтяном газе

В последнее время осуществляется дополнительное стимулирование нефтедобывающих компаний на государственном уровне по снижению количества сжигаемого попутного газа. Так, согласно проекту постановления правительства, разработанному в Ростехнадзоре, фактические выплаты (штрафы) за сжигание попутного газа в объеме более 5% от общего объема извлекаемого ПНГ должны увеличиться к 2011 году в 100 раз. Таким образом, нефтедобывающим компаниям будет экономически выгодно повышение коэффициента утилизации попутного газа до 95%. Следует отметить, что в настоящее время коэффициент утилизации ПНГ в нашей стране составляет в среднем 70-75%.

В связи с этим в последнее время крупнейшие российские нефтедобывающие компании уже на самой начальной стадии освоения новых месторождений включают в проекты электростанции собственных нужд (ЭСН), реализуемые на базе газопоршневых или газотурбинных установок. Не стала исключением в этом плане и компания «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» при разработке нефтяного

месторождения «Холмистое», расположенного в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (фото 1).

При освоении месторождения необходимо было обеспечить дожимную насосную станцию (ДНС) собственным независимым источником электроэнергии (с возможностью последующего увеличения электрической мощности), работающим на ПНГ, который вырабатывается в процессе сепарации нефти на самом месторождении. При проведении тендера на проектирование, поставку, строительство и ввод в эксплуатацию газопоршневой электростанции для электроснабжения Холмистого месторождения ООО «ТехноСерв А/С» предложило наиболее выгодные условия реализации проекта ЭСН и выиграло тендер. Во многом это было определено особенностями основного оборудования, поставляемого компанией.

При строительстве данного энергоисточника нужно было решить две задачи: обеспечить собственной дешевой электроэнергией дожимную насосную станцию и повысить процент утилизации попутного нефтяного газа.

Генпроектировщиком была определена проектная организация «Гипротюменнефтегаз», генподрядчиком – строительно-монтажный трест г. Ноябрьска.

ООО «ТехноСерв А/С» выступило как генподрядчик, проектировщик и поставщик оборудования ГПЭС. Согласно договору компания поставила оборудование под ключ, т.е. выполнила все проектные, монтажные и пусконаладочные работы и обеспечила ввод станции в эксплуатацию. В процессе реализации проекта осуществлялось тесное взаимодействие с представителями заказчика и генпроектировщиком месторождения.

Особенности использования ПНГ

При использовании попутного нефтяного газа в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания следует учитывать некото-

Фото 1.
Электростанция
собственных нужд
на месторождении
«Холмистое»



рые его отличия от природного газа. Так, по сравнению с природным газом, ПНГ, как правило, содержит повышенное количество тяжелых углеводородов, которые снижают метановый индекс и повышают вероятность возникновения детонации в двигателе. Это, в свою очередь, приводит к нестабильной работе и возможному разрушению деталей двигателя.

Поэтому для обеспечения высокой надежности и работоспособности газопоршневых генераторных установок необходимо использовать двигатели внутреннего сгорания, специально спроектированные для работы на ПНГ.

Двигатели компании Waukesha Engine изначально были предназначены для сжигания попутного нефтяного газа. Еще до выхода данной компании на международный рынок основным потребителем ее продукции были нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия, поэтому большинство двигателей были специально адаптированы под топливный газ, отличающийся по составу от так называемого газа «коммерческого качества».

Двигатели Waukesha имеют ряд преимуществ перед двигателями внутреннего сгорания других фирм-производителей. Это пониженная степень сжатия (до 8,2), позволяющая снизить уровень детонации и ее негативные последствия; низкая частота вращения коленчатого вала, способствующая долговечности и низкому уровню износа самых тяжелонагруженных деталей. Так, назначенный ресурс двигателя не менее 300 тыс. часов, но некоторые из них, отработав более 40 лет, продолжают успешно эксплуатироваться. К достоинствам двигателей можно отнести также и специальное устройство системы подачи газа и карбюрации, позволяющее работать на низком давлении топливного газа.

Следует заметить, что в связи с отмеченными конструктивными особенностями повышается металлоемкость двигателя и, соответственно, его стоимость. Но все эти издержки компенсируются возможностью работы двигателей Waukesha на ПНГ с низким метановым индексом при незначительных потерях мощности (или вообще без потерь), что подтверждено большим количеством эксплуатирующихся по всему миру двигателей.

Выбор модели генераторной установки

Одним из наиболее важных вопросов, которые необходимо было решить при предварительной проработке проекта ЭСН, является выбор модели газопоршневой генераторной установки (ГПГУ). При этом должны учитываться необходимая суммарная электрическая мощность электростанции, единичная мощ-

ность генераторных установок, режим работы станции и особенности химического состава попутного газа.

В связи с этим на этапе выбора ГПГУ был выполнен анализ состава ПНГ, добываемого на месторождении, который предполагалось использовать в качестве топлива. Он показал достаточно низкое значение детонационного индекса: WKI = 44,6 (WKI – Waukesha Knock Index – метановый индекс, рассчитанный по методике компании) и чрезмерное наличие тяжелых углеводородов. Поэтому нужно было выбрать энергоустановку с некоторым запасом по электрической мощности, так как при работе на таком газе она не могла вырабатывать номинальную мощность.

В соответствии с требованиями заказчика необходимая суммарная мощность электростанции должна была составлять не менее 5 МВт, с последующим расширением до 8 МВт, а единичная мощность энергоустановок – 0,6...0,8 МВт. Для использования в проекте была выбрана генераторная установка серии VHP5904GSID номинальной электрической мощностью 900 кВт, которую можно было обеспечить при работе на природном газе «коммерческого качества».

Стоит отметить, что электростанция нефтяного месторождения «Холмистое» является пилотным объектом для данного типа ГПГУ в России, так как до сих пор установки VHP5904GSID в нашу страну не поставлялись.

Генераторные установки были заказаны на заводе с учетом параметров газа данного месторождения. Однако в ходе проведения дополнительных проработок обнаружилось, что была предоставлена глубинная проба попутного газа, который, пройдя ступени сепарации, имел уже другой компонентный состав и, соответственно, другие характеристики. По данным новых анализов детонационный индекс был несколько выше и составлял уже 52,5, что способствовало увеличению возможной электрической мощности ГПГУ, однако потребовало дополнительных работ по пусконаладке и настройке двигателя под новые параметры газа.

Система подготовки топливного газа

В связи с особенностями технологии добычи нефти случаются ее залповые выбросы в трубопровод подачи газа к ГПЭС, в результате чего возможен аварийный останов электростанции и выход из строя генераторных установок. Поэтому после согласования с заказчиком было решено включить в проект систему подготовки топливного газа (фото 2). Она предназначалась для очистки попутного нефтяного газа, поступающего с дожимной насосной станции

6 MW power plant operates on casing-head gas.

Casing-head gas is widely used by Russian oil companies. It is connected with the necessity to supply power for oil fields far from power grid.

At present additional state stimulation of oil companies is being carried out to reduce the amount of casing-head gas burning. In accordance with government regulation project developed by Russian Technical Supervisory Authority penalty for burning of more than 5% of the total volume of casing-head gas will increase 100 times by the year of 2011.

In this case large oil companies at final stage of field development plan to provide the field with power plants.

Gazpromneft-Noyabrskneftegas JSC is no exception. The article illustrates power project realization in Kholmistoye oil field, Purovsky district, Yamalo-Nentskiy Autonomous Area.

The power plant with the capacity of 6 MW is designed on the base of Waukesha VHP5904GSID gas turbine power units operating on casing-head gas. The project was realized by TechnoServ A/S. Such gas turbine unit characteristics as emission level, fuel gas purification system, the advantages of container design are examined.



📷 *Фото 2.*
**Система подготовки
топливного газа**

(ДНС) месторождения, от конденсата и механических примесей. Кроме того, она должна поддерживать давление и температуру газа на заданном уровне при газоснабжении генераторных установок. Проект системы подготовки топливного газа выполнен ОАО «Гипротюменнефтегаз» совместно со специалистами ООО «ТехноСерв А/С».

Система подготовки топливного газа размещена на площадке подготовки топлива и включает в себя газовые сепараторы, дренажную емкость для сбора конденсата, блок подготовки газа с электрокотельной (производства ОАО «Нефтемаш», г. Тюмень) и технологический газопровод подачи газа в ГПЭС.

Попутный нефтяной газ от первой ступени сепарации ДНС подается на площадку в горизонтальные газовые сепараторы СГ2 или СГ3, один из которых является рабочим, а другой – резервным. Сепараторы оборудованы водяным обогревом и автоматической системой сброса конденсата. Основное назначение сепараторов – предотвратить аварийный выброс нефтепродуктов в блок подготовки газа и, далее, в систему подачи газа в ГПУ.

После сепарации газ подается в блок подготовки газа (БПГ), который предназначен для более тонкой очистки газа от конденсата и механических примесей, поддержания его температуры и давления в заданном диапазоне. Наличие БПГ позволяет гарантированно, даже при существенном изменении состава газа за горизонтальными газовыми сепараторами, обеспечить подачу газа необходимого качества к генераторным установкам.

Блок подготовки газа представляет собой блочно-комплектное устройство полной заводской готовности, которое располагается в стандартном контейнере габаритами 3x7 м. Электрокотельная находится в отдельном контейнере размерами 3x3 м.

Оборудование БПГ работает по следующей технологии: газ поступает по входному трубопроводу на две параллельные линии (одна из которых является резервной) в сепаратор ГС3 или ГС4, где происходит очистка газа от капельной жидкости. Сброс жидкости из сепараторов ГС3 и ГС4 производится автоматически. Далее газ поступает в теплообменник ТП1 или ТП2, а затем на узел коммерческого учета газа, выполненного на базе счетчика расхода газа ДУМЕТИС-9421.

Подсистема редуцирования давления газа создана на базе двух регуляторов давления (основного и аварийного), подключенных параллельно друг к другу. Перед регуляторами давления установлены газовые фильтры Ф1 и Ф2. После БПГ газ подается по технологическому газопроводу в систему подвода топливного газа к генераторной установке. Газопровод теплоизолирован, в качестве теплоспутника используется греющий электрический кабель.

Образующийся конденсат из сепараторов СГ2, СГ3 и БПГ сбрасывается в емкость сбора конденсата. По мере ее заполнения конденсат откачивается из емкости насосом в систему утилизации месторождения.

Контейнерное исполнение станции

Для сокращения сроков проведения монтажных работ, а также для обеспечения возможности перемещения электростанции на другое месторождение в будущем одним из условий заказчика было контейнерное исполнение ГПЭС.

В связи с этим был предложен вариант размещения газопоршневых генераторных установок в объединенном машинном зале, собранном из модулей. Данный вариант оказался более предпочтительным с нескольких позиций. Прежде всего, модульное исполнение позволит производить плановое расширение электростанции с шести установок до планируемых десяти. За счет более компактного расположения блок-контейнеров требуется площадка меньших размеров под электростанцию, в результате чего снижается протяженность трубопроводов, кабельных линий и т.д. Поскольку промежуточные стенки между контейнерами отсутствуют, то проходы между агрегатами увеличиваются, что создает дополнительные удобства для выполнения текущих регламентных работ и ремонта оборудования.

Для размещения основного и вспомогательного оборудования электростанции использовались контейнеры серии «Континент» (рис. 1). Они являются собственной разработкой компании «ТехноСерв А/С», налажено их серийное производство. К началу создания

ЭСН компания поставила более 600 контейнеров данной серии при реализации других проектов.

При выполнении проектной документации было разработано несколько типовых решений по размещению основного и вспомогательного оборудования электростанции. В состав ГПЭС были включены следующие модули:

- контейнер для ГПГУ, имеющий несколько модификаций (с боковым и промежуточным размещением в объединенном машинном зале);
- закрытое распределительное устройство (ЗРУ-6 кВ);
- комплектная трансформаторная подстанция (КТП-6/0,4 кВ) для обеспечения собственных нужд ГПЭС с низковольтным коммутационным устройством (НКУ);
- аварийная дизель-электростанция для обеспечения собственных нужд в период монтажа и при аварийных остановках ГПЭС;
- система подготовки и подачи топливного газа к ГПГУ;
- операторная;
- контейнер для размещения склада запасных частей (ЗИП) и мастерской;
- контейнер для хранения масла и антифриза.

Все контейнеры были оснащены различными инженерными системами, обеспечивающими необходимые условия для надежной и стабильной работы установленного внутри оборудования, а также создание комфортных условий для обслуживающего персонала. Например, контейнеры для ГПГУ оснащались системами подвода газа; контроля загазованности внутри модуля; охранной сигнализации; основного и аварийного освещения; технологической и противоаварийной вентиляции; отвода выхлопных газов и шумоглушения; подогрева воздуха внутри контейнера и др.

Несмотря на то что все разрабатываемые контейнеры имели некоторые особенности, их основные конструктивные элементы были однотипными и унифицированными. Так, основанием контейнера является сварная рама с продольно-поперечным силовым набором, выполненным из швеллеров разного типоразмера. Стены и крыша изготовлены из профилированного стального листа толщиной 1,6...1,8 мм с продольно-поперечным силовым набором из стального профиля и деревянного бруса (для утепления и возможности монтажа внутренней обшивки). Пол внутри контейнера – из стального рифленого листа толщиной 5 мм.

Все двери контейнера – металлические, утепленные, с усиленными петлями. Они оборудованы надежными замками с ручками-защелками и оснащены доводчиками. В продоль-

ной стене контейнера устанавливается (при необходимости) входная дверь для обслуживающего персонала. В торцевой стене могут быть установлены утепленные распашные ворота для проведения монтажа и демонтажа габаритного оборудования.

В крыше контейнера предусмотрен узел короба выхлопного тракта для прохода трубы системы отвода выхлопных газов от газопоршневой или дизель-генераторной установки. Нижняя стенка контейнера (снаружи) обшита гладким стальным листом. Между стальными листами днища уложен теплоизоляционный негорючий материал, основой которого является базальтовая вата.

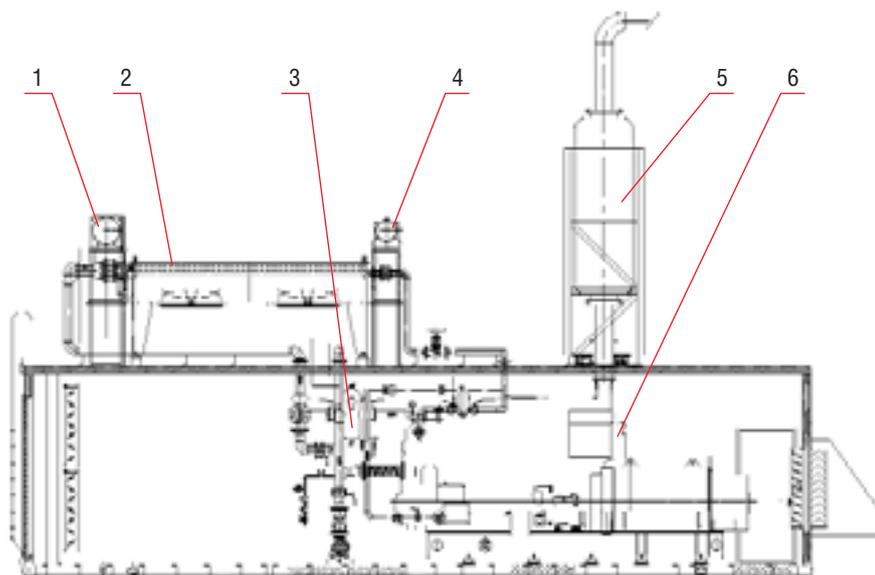
Конструктивное исполнение ввода/вывода элементов оборудования и инженерных систем через крышу, боковые и торцевые стены контейнера, а также наличие технологических и монтажных проемов полностью исключает попадание осадков (дождя, снега и т.д.) во внутреннее пространство, обеспечивая при этом их беспрепятственный сток на землю.

Конструкция модуля исключает возможность протекания горючесмазочных веществ из внутреннего пространства, и, соответственно, исключается несанкционированное заражение почвы. Это обеспечивается тем, что пол контейнера выполнен в виде герметичной ванны глубиной 100 мм и имеет специальный дренажный узел с запорной арматурой.

Перед транспортировкой оборудования все выступающие за пределы габаритов модуля детали и узлы демонтируются и закрепляются внутри контейнера. Оставшиеся после демонтажа проемы и отверстия закрываются временными крышками, фланцами, заглушками, защищающими изделие от механического повреждения и воздействия атмосферных осад-

Рис. 1.
Компоновка контейнера
серии «Континент»
для ГПГУ

- 1 – расширительный бак №1;
- 2 – охладитель;
- 3 – система охлаждения;
- 4 – расширительный бак №2;
- 5 – глушитель выхлопа;
- 6 – ГПГУ



➔ Фото 3.
Общий вид ЗРУ-6 кВ



ков при транспортировке и хранении. Наличие верхних строповочных узлов обеспечивает надежное «зачаливание» контейнера грузоподъемными средствами и крепление при его транспортировке.

Особенности использования установок с повышающим трансформатором

Согласно требованиям заказчика для электростанции месторождения «Холмистое» использовались газопоршневые генераторные установки с низковольтными синхронными электрогенераторами и повышающими трансформаторами. Применение таких ГПГУ имеет ряд преимуществ, среди которых нужно отметить следующие:

- электрогенератор установки надежно защищен от грозových и коммутационных импульсных перенапряжений; а также от гармонических искажений и постоянной составляющей при работе нагрузки с частотным регулируемым приводом и плавным стартом;
- появляются три уровня защиты электрогенератора от перегрузки и короткого замыкания – низковольтный автомат на выходе генератора, собственно трансформатор, плавкие вставки на высокой стороне трансформатора;
- генератор гальванически «развязан» от высокого (6,3/10 кВ) напряжения, что снижает опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала;
- отпадает необходимость устанавливать на общей шине ЗРУ-6 кВ понижающий транс-

форматор напряжения для синхронизации и трансформатор напряжения для синхронизации на стороне генератора;

- возможно использование всей мощности генератора при напряжении 0,4 кВ.

Таким образом, применение установок с низковольтными синхронными электрогенераторами и повышающими трансформаторами позволяет снизить суммарную стоимость основного и вспомогательного оборудования электростанции, а также повысить надежность его работы.

Главная электрическая схема

В соответствии с ТЗ на проектирование было разработано закрытое распределительное устройство с двухсекционной системой шин, разделенных секционным выключателем и разъединителем.

К секциям ЗРУ подключаются: электрогенераторы ГПГУ через разделительные повышающие трансформаторы 0,4/6,3 кВ; комплектная трансформаторная подстанция собственных нужд; трансформаторы напряжения; внешние входящие и выходящие линии электропередач на напряжение 6 кВ.

Для возможного расширения ГПЭС предусматривается место для размещения дополнительных четырех генераторных ячеек.

В высоковольтных ячейках установлены вакуумные выключатели производства фирмы «Таврида-электрик». Ячейки (ПО «Элтехника») оборудованы микропроцессорной защитой IPR-A. По требованию заказчика в генераторных ячейках и ячейках отходящих линий установлены счетчики серии СЭТ-4ТМ.

Оперативный ток – переменный, с использованием источника бесперебойного питания.

Кроме местного управления, генераторные ячейки предусматривают возможность дистанционного управления высоковольтными выключателями.

Микропроцессорная защита обеспечивает функции защиты, автоматики и управления, определенных ПУЭ и ПТЭ; ввод и хранение уставок защит и автоматики; контроль и индикацию положения выключателя; получение дискретных сигналов управления, выдачу команд управления аварийной и предупредительной сигнализации.

Основное оборудование закрытого распределительного устройства (силовые шкафы) было размещено в двух объединенных между собой по длинной стороне 12-метровых контейнерах серии «Континент». Это, с одной стороны, позволило сократить объем монтажных работ, а с другой – обеспечить более комфортные условия при эксплуатации оборудования ЗРУ-6 кВ.

Общий вид оборудования распределительного устройства показан на *фото 3*.

Автоматизированная система управления ГПЭС

Для осуществления высокой надежности работы основного и вспомогательного оборудования электростанции, использования минимального количества обслуживающего персонала, а также оперативного реагирования на возникновение предаварийных ситуаций применяется автоматизированная система управления (АСУ ГПЭС).

В ее состав вошли:

- центральный пульт управления (ЦПУ) с системой телемеханики для сбора и обработки поступающей оперативной информации и для управления ГПЭС;
- панели управления газопоршневых генераторных установок и аварийной дизель-электрической станции;
- модуль контроля и управления ЗРУ-6 кВ;
- модули контроля и управления оборудованием системы подготовки топливного газа; вспомогательным оборудованием ГПЭС.

Центральный пункт управления предназначен для обеспечения работы оборудования ГПЭС на всех возможных режимах без участия оператора, в том числе при параллельной работе с внешней электросетью. Он реализован на базе управляющего контроллера и имеет необходимые связи с панелями управления и блоками параллельной работы ГПГУ, панелью управления аварийной ДЭС и блоком управления ЗРУ.

Основными функциями автоматизированной системы управления ГПЭС являются:

- полная автоматическая синхронизация во времени на всех устройствах системы АСУ ГПЭС;
- автоматическая проверка состояния и готовности любой газопоршневой генераторной установки к пуску;
- ручной и дистанционный автоматический запуск/останов ГПГУ; вывод станции на режим заданной нагрузки;
- автоматическая стабилизация заданного режима работы основного и вспомогательного оборудования ГПЭС;
- управление пусками, остановами и работой ГПГУ под нагрузкой по заданному алгоритму (в зависимости от полной нагрузки) без вмешательства оператора;
- контроль функционирования элементов систем управления ГПГУ, аварийной ДЭС и ЗРУ-6 кВ;
- организация параллельной работы генераторных установок между собой;

- оперативная связь с системой противопожарной защиты;
- контроль уровня топлива в расходной емкости аварийной ДЭС;
- автоматическая подкачка масла в расходные баки ГПГУ, аварийной ДЭС.

Панели управления ГПГУ и аварийной ДЭС в режиме реального времени обеспечивают ручной и дистанционный автоматический запуск по команде оператора с ЦПУ, прием нагрузки потребителей и ее равномерное распределение между работающими установками. Осуществляется автоматическое регулирование напряжения и частоты тока, автоматическая защита агрегата по аварийным параметрам (температура охлаждающей жидкости и масла, давление масла и т.д.).

Блок управления ЗРУ осуществляет дистанционное управление включением/выключением вакуумных выключателей высоковольтных ячеек, а также контроль релейной защиты оборудования распределительного устройства на всех режимах работы.

Заключение

В настоящее время российские нефтедобывающие компании заинтересованы в коммерческом использовании попутного нефтяного газа. Все чаще в состав проектов обустройства нефтяных месторождений включаются электростанции собственных нужд на базе газопоршневых и газотурбинных установок, использующие ПНГ в качестве топлива.

Успешное выполнение проекта по строительству ЭСН на базе газопоршневых генераторных установок может осуществляться только при наличии у компании возможности выполнения всего комплекса работ – «под ключ». Немаловажное значение имеют также налаженные дистрибьюторские и партнерские отношения с поставщиками основного и вспомогательного оборудования.

Газопоршневые генераторные установки серии VHP производства Waukesha Engine, поставляемые на российский рынок компанией «ТехноСерв А/С», доказали возможность стабильной работы и сохранения значений основных параметров даже при существенном ухудшении качества подаваемого попутного нефтяного газа.

Компания имеет все необходимые возможности для успешной и комплексной реализации проектов по строительству и вводу в эксплуатацию электростанций собственных нужд для нефтяных месторождений и аналогичных энергетических объектов на базе газопоршневых генераторных установок. ■