

# ПОДОГРЕВАТЕЛИ ПРИРОДНОГО ГАЗА: СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

ИВАН ГУЛЫНИН  
ПЁТР ШОСТАКОВСКИЙ

Автономные источники питания (АИП) на основе термогенератора (также называемого термоэлектрическим генератором) свыше 50 лет применяются в промышленности. Их главными достоинствами являются: длительный межсервисный период (до 1 года), исключение необходимости присутствия технического персонала, а также возможность использования выделяемого тепла в процессе работы для обогрева приборного отсека в холодное время. Примеры применения термогенераторов в промышленности приведены в подборке статей [1]. В данной публикации представлен новый вариант использования термогенератора на промышленном оборудовании, обеспечивающем автономную работу в холодное время года в суровых условиях эксплуатации.

Подогреватель природного газа с жидкостным теплоносителем ПГ-10 применяется для непрямого нагрева природного газа на различных этапах его добычи, транспортировки и распределения. В соответствии с паспортными данными установки потребляемая ею электрическая мощность не превышает 100 Вт, но при этом требуется подключить сеть переменного тока 220 В. Обеспечить автономное электрическое питание без подключения к штатной сети переменного тока является актуальной задачей, решение которой позволит оборудованию работать бесперебойно. Не менее важная задача — выполнение удаленного мониторинга работы оборудования.

Для решения поставленных задач была проведена модернизация системы автоматического управления (САУ) подогревателем с целью интеграции в современные методы дистанционного контроля и управления, а также снижения потребляе-

мой мощности. После модернизации САУ данный показатель был снижен до 25 Вт.

Другой электрической нагрузкой в подогревателе, имеющей наибольшую номинальную мощность, является система искрового поджига газа. Номинальная мощность системы поджига составляет 60 Вт, однако время работы поджига не превышает десятков секунд и для питания данной системы достаточно применить аккумуляторную батарею (АКБ), заряжаемую небольшим током в течение длительного времени между запусками подогревателя.

В результате оптимизации САУ суммарное усредненное потребление энергии было снижено до 55–60 Вт, а применение исполнительных устройств с напряжением питания 24 В позволили обеспечить автономное электропитание подогревателя за счет установки термогенератора и буферной аккумуляторной батареи.

Задача интеграции САУ в системы передачи данных на начальном этапе была решена с помощью GPRS-канала со шлюзом на базе модема «Овен» ПМ210. После настройки и отладки всех режимов работы для контроля параметров КПП-10 установили Wi-Fi-антенну и преобразователь интерфейсов RS-485 — Ethernet для передачи параметров подогревателя на газовый промысел. На данном этапе стала выполнимой интеграция в действующую автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП). Эта опция привела к допол-

нительному потреблению электрической энергии на уровне 10 Вт, что не повлияло на принципиальную возможность применения термогенератора в составе оборудования для обеспечения его автономной работы.

В процессе оптимизации САУ для обеспечения минимального электропотребления использовалось напряжение постоянного тока 24 В (в качестве напряжения питания). В основном такой выбор был обусловлен доступностью энергоэффективных узлов, компонентов и комплектующих промышленного назначения на данное напряжение.

Структурная схема подогревателя с термогенератором приведена на рис. 1.

Система автономного электропитания работает следующим образом.

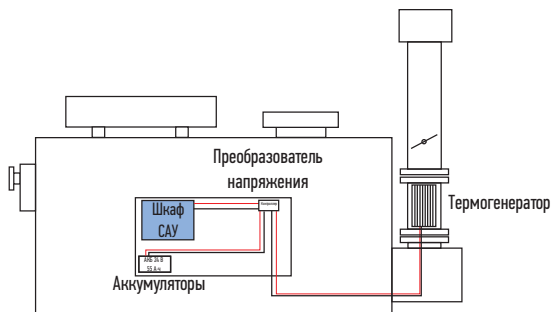
При запуске термогенератор находится в холодном состоянии, система автоматизации питается от буферных батарей.

Подготовительные мероприятия перед запуском модернизированной конструкции не отличаются от базовых и включают проверку:

- исправности газовой арматуры;
- параметров датчиков давления газа и уровня теплоносителя;
- состояния аварийных защит;
- отсутствия ложных срабатываний датчика пламени.

К фазе ручного управления модернизированным подогревателем относится установка поддерживаемой температуры теплоносителя и нажатия кнопки «Пуск». Далее подогреватель

**РИС. 1.** ▼  
Структурная схема  
подогревателя  
с термогенератором



переходит в полностью автоматический режим.

После запуска подогревателя разность температур на генераторных модулях начинает увеличиваться, и при достижении перепада температур приблизительно в 30 °С уровень напряжения, вырабатываемого генератором, становится достаточным для запуска преобразователей напряжения. С этого момента система переходит на питание и подзарядку буферных АКБ от термогенератора.

Конструкция генератора смоделирована с помощью компьютерной программы «Компас 3D» (рис. 2). Генератор имеет вид отрезка трубы диаметром 273 мм и длиной 1000 мм. С обеих сторон установлены фланцы для крепления в разрез дымоходной трубы кустового подогревателя газа КПП-10.

Мощности, вырабатываемой термогенератором в составе КПП-10, хватает не только для обеспечения своей работы, но и для питания комплекса телеметрии куста скважин, который включает модуль сбора данных и радиопередатчик.

При выборе конструкции генератора были рассмотрены два типа термоэлектрических генераторных модулей (ТГМ): среднетемпературные и низкотемпературные.

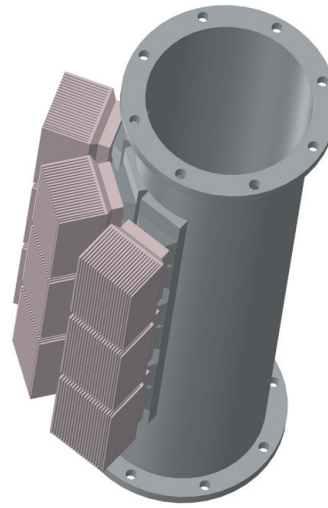
Среднетемпературные ТГМ обладают КПД до 7% при обеспечении двух условий: температуры горячей стороны ТГМ +515 °С и разности температур между горячей и холодной сторонами ТГМ 450 °С. При этом конструкция модуля такова, что для обеспечения равномерного плотного прижима во всем интервале рабочих температур требуется усилие в несколько тонн для каждого ТГМ. Это влечет за собой необходимость применения мощных пружин различной конструкции.

Низкотемпературные ТГМ работают при максимальной рабочей температуре горячей стороны +200 °С, имеют меньший перепад температур и, соответственно, меньший КПД (до 4%). Достоинствами низкотемпературных ТГМ, по сравнению со среднетемпературными, являются: большая снимаемая мощность с единицы площади, простота в установке (требуется меньшее усилие прижима) и приблизительно на порядок меньшая стоимость 1 Вт вырабатываемой электроэнергии. Более того, используя термоэлектрический генератор в составе подогревателя

газа, можно обеспечить эффективность, близкую к 100%.

Исходя из вышесказанного, для оптимизации конструкции по стоимости, размерам и весу в термогенераторе применены 18 низкотемпературных термоэлектрических генераторных модулей ТГМ-199-1,4-0,8, объединенных в две группы по девять последовательно соединенных модулей.

КПД топки подогревателя невысок — как следствие, температура дымовых газов варьируется от +300 °С до 450 °С. С учетом потерь при передаче тепловой энергии газа теплоприемнику температура последнего будет не выше +300 °С, при этом максимальная температура горячей стороны ТГМ не должна превышать +200 °С. Для решения этого несоответствия была рассчитана термодинамическая модель системы, состоящей из радиатора теплоприемника с соответствующей площадью поверхности. Была учтена теплопроводность составных частей, включая ТГМ, и выбрана толщина термоинтерфейса по горячей стороне. Исходя из полученных результатов конструкция термогенератора была оптимизирована для генераторных модулей ТГМ-199-1,4-0,8, серийно выпускаемых компанией «КРИОТЕРМ» и имеющих наименьшее значение теплового сопротивления ( $R_t = 0,58 \text{ K/Wt}$ ). Данные модули предоставляют возможность обеспечить интенсивный тепловой поток и ограничение температуры горячей стороны, которая не должна превышать +200 °С.

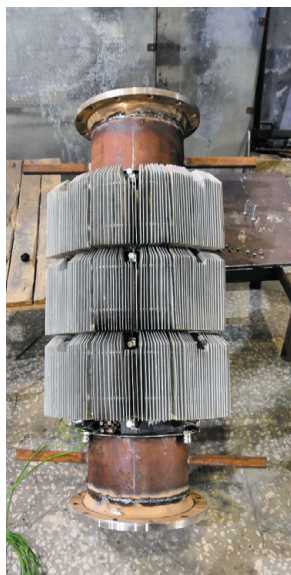


**РИС. 2.** ◀  
Модель конструкции термоэлектрического генератора для подогревателя газа

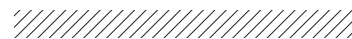
Для контроля холодной и горячей стороны ТГМ установлены две термопары. Одна вмонтирована в теплоемник, вблизи ТГМ, другая — в радиатор охлаждения, также в непосредственной близости от генераторного модуля. Термопара, установленная в теплоемник, участвует в алгоритме работы всего агрегата, тем самым защищая ТГМ от перегрева.

Вид термоэлектрического генератора в сборе и после установки на подогреватель приведен на рис. 3.

Воздушные радиаторы охлаждения укрыты специальным кофром, соединенным с камерой сгорания. Они образуют канал забора воздуха для работы инжекционной горелки ИГК-1-15 с номинальной тепловой мощностью



**РИС. 3.** ◀  
Термоэлектрический генератор в сборе и на подогревателе газа ПГ-10



184 кВт. В нормальном режиме работы потребление воздуха инжекционной горелки составляет 170 м<sup>3</sup>/ч. Воздух, проходя через воздушные радиаторы охлаждаемой стороны ТГМ, эффективно отводит от них тепло. За счет низкого температурного сопротивления модулей происходит активная передача тепла от теплосъемников с малой тепловой инерцией. При увеличении мощности горелки возрастает и температура дымовых газов, которые интенсивнее нагревают теплосъемник, при этом также становится больше объем потребляемого воздуха, проходящего через радиаторы холодной стороны ТЭГ. Таким образом, удалось добиться относительно стабильного перепада температуры на генераторных модулях в различных режимах работы подогревателя газа.

Установка также содержит индикации «Работа» и «Авария», кнопки «Пуск» и «Стоп», клапан горелочного устройства, источник высокого напряжения, аккумулятор 12 В, 75 А/ч, цепь 4–20 мА.

Для отладки и анализа работы системы управления подогревателем все параметры передаются в АСУ

ТП и хранятся 90 дней. На базе этих показателей строятся графики для визуального отображения процессов работы, зависимостей температур и взаимодействия генератора с системой автоматизации подогревателя (рис. 4).

Контролируемые параметры:

- DC-1,2 — наличие напряжения на выходах первого и второго DC/DC-преобразователя. При включении преобразователей на контроллер приходит сигнал о начале работы генератора.
- KI-1 — сигнал включения газового клапана горелки.
- Д. П. — датчик пламени горелки.
- Иск. — сигнал запуска искрового поджига.
- Порыв/уровень — датчик уровня диэтиленгликоля, совмещенного с концевиком порыва змеевика теплообменника.
- Сигналы аварийной защиты — являются дискретными, сигнализируют об обнаружении неисправностей и результатах диагностики подогревателя.
- АКБ в. — напряжение на буферной аккумуляторной батарее.

- Дэг темп. — температура диэтиленгликоля, который служит промежуточным теплоносителем и передает тепло от топки к газовому змеевику; является основным параметром, характеризующим работу ПГ-10.
- ТЭГ гор., ТЭГ хол. — параметры температуры с термопар в холодном и горячем радиаторах генератора. Термопары участвуют в алгоритме работы подогревателя и при достижении +195 °С на радиаторе горячей стороны дают команду на закрытие клапана горелки. Далее при остывании генератора до +155 °С (биполярный гистерезис 20 °С) установка разрешает дальнейшую работу ПГ-10. «ТЭГ хол.» показывает температуру радиатора охлаждения холодной стороны генератора. Эта температура характеризует мощность потока воздуха через радиаторы охлаждения и, соответственно, перепад температур на генераторе. В целом две температуры показывают режим работы генератора. ●

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.kryothermtec.com/ru/download-catalog.html](http://www.kryothermtec.com/ru/download-catalog.html)

