

УДК 62-83:621.57:622.691 + 621.31-213.34

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТРОЙСТВА КОНДЕНСАТОРА ХЛАДАГЕНТА (ПРОПАНА) СТАНЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ЕЁ МОДЕРНИЗАЦИИ

Аркадий Валериевич Теленко

Студент 4 курса,

кафедра «Автоматизация и технология машиностроения»

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская,
33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail arik250504@mail.ru*

Научный руководитель: А.Н. Круговой,

доцент кафедры «Автоматизация и технология машиностроения»

Аннотация. В статье рассматриваются разработка электропривода для конденсатора хладагента (пропана) в рамках модернизации станции охлаждения природного газа. Обоснована цель модернизации для надежности и эффективности технологического процесса в условиях Крайнего Севера и взрывоопасной среды. На основе расчетов мощности вентилятора выполнен подбор основного оборудования: взрывозащищенный асинхронный электродвигатель и частотный преобразователь. Разработанное решение обеспечивает плавное регулирование скорости вращения вентилятора, устраняет необходимость ручного управления, повышает эффективность работы конденсатора хладагента.

Ключевые слова: электропривод, частотный преобразователь, асинхронный двигатель, станция охлаждения газа, конденсация пропана, холодильный цикл, автоматизация, конденсатор, расчет мощности, взрывозащита.

Введение

Транспортировка природного газа в условиях Крайнего Севера представляет многоступенчатый технологический цикл, где требования безопасности, надежности и экономической эффективности определяются экстремальными климатическими условиями и сложностью рельефа. Одним из крупнейших объектов газодобычи, который находится в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО), является Ямбургское месторождение [1, с.50]. Транспортировку природного газа с месторождений ЯНАО обеспечивает ООО «Газпром трансгаз Югорск» Ямбургское линейно-производственное управление магистральных газопроводов (ЛПУМГ) является первой (головной) станцией, получающей газ от газодобывающих предприятий. Главной задачей подразделений газотранспортного предприятия является подготовка, сжатие (компримирование), охлаждение газа после сжатия в нагнетателях и непосредственная транспортировка по магистральным газопроводам (МГ).

Газ добывается из пластов, глубина их колеблется от 1000 метров до нескольких километров. После изучения месторождения, где находятся залежи, начинается процесс добычи газа, то есть извлечения из недр, сбора и подготовки к транспортировке. Природный газ извлекается при помощи

специальных пробуренных скважин, которые называются добывающими или эксплуатационными. Добывающий газ из скважин направляется в компрессорный цех. Газ из скважин под собственным давлением направляется в газовый промысел, где происходит его сбор со скважин, очистка, поднятие давления в дожимных компрессорных станциях (ДКС) и последующая подача по межпромысловому коллектору на вход компрессорного цеха газотранспортного предприятия.

На компрессорном цехе газ проходит через ряд этапов в рамках технологического процесса по подготовке к его транспортировке. Перед поступлением на вход нагнетателей, газоперекачивающих агрегатов, газ проходит цикл очистки от механических примесей в пылеуловителях и от жидких примесей в фильтры-сепараторах.

После очистки, для дальнейшей транспортировки по газопроводам, газ поступает на вход нагнетателей газоперекачивающих агрегатов для его компримирования (сжатия). Такие агрегаты сжимают газ до рабочих параметров магистрали от 75 до 120 атмосфер. В соответствии с первым законом термодинамики, процесс адиабатического сжатия, приводит к значительному росту температуры сжатого газа до +55...+80 градусов Цельсия. На выходе компрессорной станции формируется поток горячего газа высокого давления [2, с.205].

После цикла очистки газ поступает на вход нагнетателей газоперекачивающих агрегатов (ГПА) для его компримирования. Такие агрегаты сжимают газ до рабочих параметров магистрали от 7,5 до 12 МПа. В соответствии с первым законом термодинамики, процесс адиабатического сжатия, приводит к значительному росту температуры сжатого газа до +55...+80 градусов Цельсия. На выходе нагнетателей формируется поток горячего газа высокого давления.

Последним и финальным этапом подготовки газа перед подачей газа в магистральные газопроводы (МГ) является охлаждение газа. Это необходимо чтобы уменьшить температурное напряжение на трубопроводах, снизить интенсивность коррозионных процессов и увеличить пропускную способность газопровода. В условиях заполярного климата на основную роль выходит повышение устойчивости газопровода, проложенного в вечномерзлых грунтах. При повышении температуры газа в МГ выше температуры грунта возможно его растепление, с последующей потерей несущей способности, и как следствие, изменение проектного положения газопровода. При изменении проектного положение МГ возникают дополнительные напряжения трубы, что в свою очередь несет риски разгерметизации МГ. В зимний период используют аппараты воздушного охлаждения газа (рис.1)

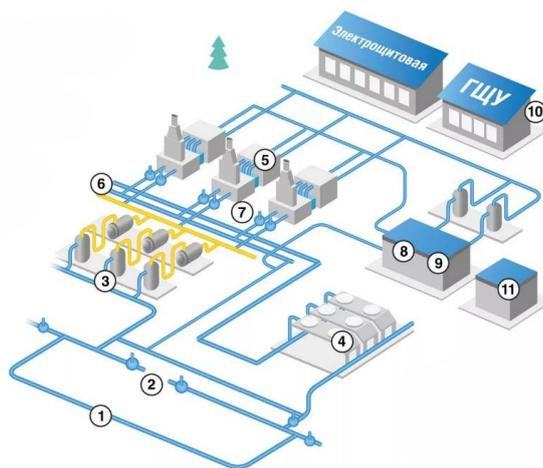


Рис. 1 - Технологический процесс компрессорного цеха. 1 – узел подключения КС к магистральному газопроводу, 2 – камеры запуска и приема очистного устройства, 3 – установка очистки технологического газа, 4 – установка охлаждения технологического газа, газоперекачивающие агрегаты, 6 – технологические трубопроводы обвязки КС, 7 – запорная арматура, 8 – установка подготовки пускового и топливного газа, 9 – установка подготовки импульсного газа, 10 – главный щит управления, 11 – оборудование электрохимической защиты.

В летнее время, для охлаждения газа до температуры грунта (0..+4 град. С) в Ямбургском ЛПУ МГ используется станция охлаждения газа (СОГ), работающая в холодильном цикле и использующая в качестве холодильного агента пропан-бутановую смесь, где охлаждение газа происходит в испарителях. Данная станция представляет собой отдельный технологический объект на компрессорной станции.

Одним из ключевых узлов холодильного цикла является система конденсации хладагента. Для этой цели используются конденсаторы хладагента (КХ). От эффективности процесса конденсации зависит стабильность работы турбокомпрессорных агрегатов СОГ (ТКА), величина хладопроизводительности, а также общий коэффициент энергоэффективности СОГ. На действующих СОГ могут возникать проблемы, связанные со снижением эффективности теплообмена, что связано с ручным регулированием количества работающих вентиляторов КХ, а также отсутствием частотного регулирования вращения электродвигателей вентиляторов. Это приводит к увеличению эксплуатационных затрат, снижению эффективности работы системы охлаждения газа, необходимости проведения частых технических обслуживаний. Что в свою очередь несет риски снижения надежности газотранспортной системы (ГТС) в целом.

Любой отказ или остановка конденсатора хладагента может привести к остановке всей станции охлаждения газа. При этом пропан-бутановая смесь – это взрыво-пожароопасное рабочее тело, требующее специального исполнения электромоторов и электроники.

Таким образом, модернизация КХ позволит обеспечить стабильную работу холодильного цикла, повысить теплообмен и, как следствие, позволит снять значительную часть рисков снижения надежности ГТС.

Целью исследования является выполнение расчетов для подбора двигателя и частотного преобразователя для процесса конденсации хладагента (пропана) для станции охлаждения природного газа.

Материалы и техническое решение

Принимаем наиболее вероятные значения, соответствующие паспортным данным и реалиям эксплуатации: $Q = 113,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ($410\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$) – паспортное, $\Delta P = 235 \text{ Па}$ – полное давление, $\eta_{\text{вент}} = 0,83$ – высокий КПД современного осевого вентилятора, $\eta_{\text{дв}} = 0,94$, $k = 1,1$.

Для выбора электродвигателя, необходимо рассчитать мощность вентилятора [2, с. 112].

$$N_{\text{в}} = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}, \text{ где}$$

$N_{\text{в}}$ – мощность вентилятора Q – расход объема воздуха $\text{м}^3/\text{с}$, ΔP – полное давление Па , η – КПД вентилятора %.

$$N_{\text{в}} = \frac{113,9 \cdot 235}{0,83}$$

Производим расчет мощность электродвигателя [1, с. 56].

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{в}}}{\eta_{\text{дв}}} \cdot K_{\text{зап}},$$

где $N_{\text{в}}$ – мощность на валу $\text{м}^3/\text{с}$, $\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя %, $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса.

$$N_{\text{дв}} = \frac{34,31}{0,94} \cdot 1,1$$

Расчетная мощность на валу вентилятора составила $N_{\text{в}} = 34,31 \text{ кВт}$, а с учетом КПД электродвигателя и коэффициента запаса требуемая установленная мощность привода составила $N_{\text{дв}} = 37 \text{ кВт}$. В соответствии с требованием был выбран взрывозащищенный электродвигатель серии ВАСО4-37-24 номинальной мощностью 37 кВт [6].

Данный выбор обусловлен его энергоэффективностью, надежной конструкцией и возможностью плавно регулировать частоту вращения с помощью частотного преобразователя. Применение регулируемого электропривода позволит повысить эффективность работы конденсатора

хладагента, снизит пусковые токи. Климатическое исполнения и категория размещения электродвигателя принимаются в соответствии с ГОСТ 15150-69, что позволит обеспечить надежную работу оборудования и исключит человеческий фактор.

Электропривод переменного тока состоит из двигателя, рабочего колеса, которое соединено с помощью шпоночного соединения. Существуют несколько вариантов соединения электропривода с вентилятором конденсатора (рис. 2). Для данного привода нецелесообразно использовать редуктор, так как установка работает в неблагоприятных условиях, что потребует более частое техобслуживание и ремонт приводов, дополнительное переоборудование КХ, с дополнительными финансовыми затратами.

Аппарат воздушного охлаждения с прямой посадкой вентилятора на вал электродвигателя

Аппарат воздушного охлаждения с приводом через клиноременную передачу

Аппарат воздушного охлаждения с приводом через редуктор с параллельными валами

Аппарат воздушного охлаждения с приводом через редуктор с перпендикулярными валами

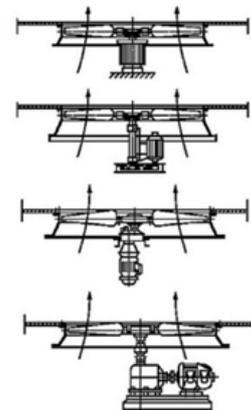


Рис. 2 - Варианты соединения двигателя с вентилятором

В качестве ключевого исполнительного устройства для регулирования скорости вентиляторов выбран преобразователь частоты Inovance серии MD290, так же было подобрано задающее устройство, для автоматического управления данным частотным преобразователем (ЧП) используется программируемый логический контроллер S7-1200. Подключение производится с помощью протокола RS-485, так же возможен вариант подключения протокола ModBus [8].

Выбранная модель преобразователя на 37-45 кВт позволит плавно регулировать частоту вращения двигателя в диапазоне до 500 Гц и контролировать параметры частотного преобразователя. Сопоставимость по габаритам также учтена: модели до 45 кВт MD290 имеют компактный корпус и могут устанавливаться во встраиваемом шкафу глубиной 300 мм, что удобно при интеграции в имеющемся оборудовании.

На представленной схеме рисунок 3, реализовано управление асинхронным двигателем вентилятора конденсатора хладагента с использованием программируемого логического контроллера S7-1200 и

частотного преобразователя Inovance 290MD. Схема обеспечивает питание силовой части и цепей управления, а также позволяет выбирать режимы.

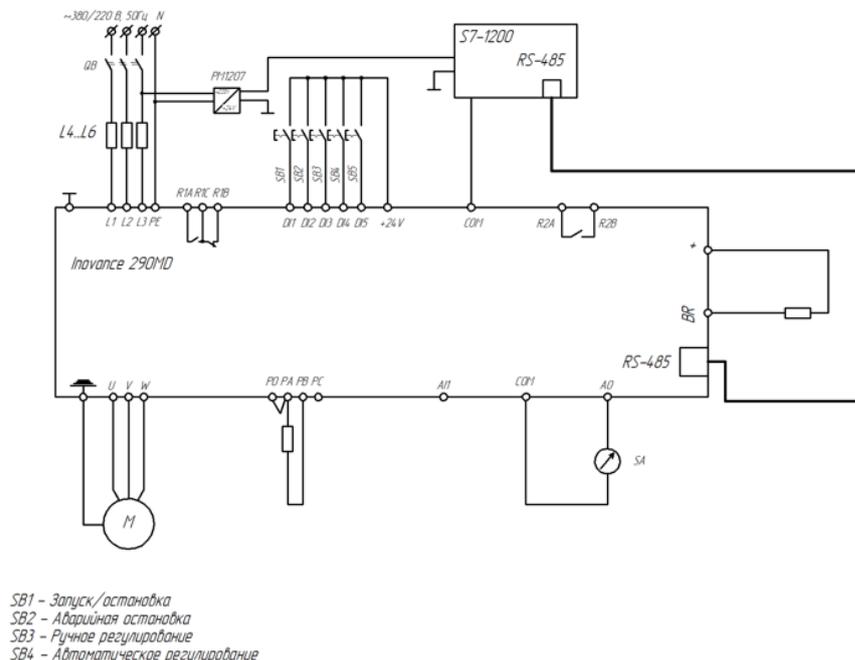


Рис. 3 - Электрическая принципиальная схема

Питание силовой части осуществляется через автоматический выключатель Q8, после которого напряжение 380В подаётся на вход ПЧ, а с его выходов U, V, W — на двигатель. Цепи управления запитываются от блока питания PI1207 (+24В). Контроллер обрабатывает дискретные сигналы от кнопок SB1-SB4: пуск/останов, аварийная остановка, выбор ручного или автоматического режима. В ручном режиме оператор управляет двигателем напрямую, в автоматическом — ПЛК формирует задание скорости через интерфейс RS-485 (Modbus RTU) и поддерживает технологический параметр температуру. Аварийная остановка SB2 имеет наивысший приоритет и принудительно снимает разрешение работы с ПЧ через логику контроллера или аппаратную блокировку. Все цепи защищены от КЗ и перегрузок, а ПЧ обеспечивает плавный пуск и защиту двигателя [7,8].

Заключение

В ходе исследования была обоснована необходимость модернизации электропривода вентилятора конденсатора хладагента (пропана) станции охлаждения природного газа, работающей в условиях Крайнего Севера и взрывоопасной среды. На основе паспортных данных аппарата воздушного охлаждения 2АВГ-75 выполнен расчёт мощности вентилятора, который показал, что требуемая мощность на валу составляет 34,31 кВт, а с учётом коэффициента запаса и КПД двигателя необходимая установленная мощность электропривода равна 37 кВт. Для реализации проекта выбран взрывозащищённый асинхронный двигатель серии ВАСО4-37-24 и

частотный преобразователь Inovance MD290 мощностью 37–45 кВт, что обеспечивает плавное регулирование частоты вращения, снижение пусковых токов и повышение энергоэффективности. Разработанная электрическая принципиальная схема на базе контроллера S7-1200 позволяет реализовать как ручной, так и автоматический режимы управления, с приоритетом аварийной остановки. Предложенное техническое решение исключает необходимость ручного регулирования, повышает надёжность и стабильность процесса конденсации, что приводит в безаварийную работу газотранспортной системы. Модернизация также снижает эксплуатационные затраты и риски, связанные с человеческим фактором и тяжёлыми климатическими условиями. Таким образом, разработанный электропривод полностью соответствует требованиям промышленной безопасности и может быть рекомендован к внедрению на аналогичных объектах.

Список литературы

1. *Катышева Е.Г.* Оптимизация системы охлаждения газа на компрессорных станциях в зоне многолетнемерзлых грунтов // Газовая промышленность. — 2020. — № 10 (806). — С. 50-55.
2. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.
3. ГОСТ ИЕС 60034-1-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики. — М.: Стандартинформ, 2015.
4. *Крюков О.В.* Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. — 548 с.
5. *Абакумов А.М., Зубков Ю.В., Абакумов О.А.* Оптимизация стационарных режимов работы установок охлаждения газа с частотно-регулируемым приводом вентиляторов // Известия высших учебных заведений. — 2024. — Т. 67, № 1. — С. 36-45.
6. *Шмигель М.Р., Русяева М.Ю., Артюхов И.И.* Исследование пусковых режимов электропривода вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения газа // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016»: Т. 4. — Иваново: ИГЭУ, 2016. — С. 5-7.
7. Техническая информация. Электродвигатели вертикальные взрывозащищенные серии ВАСО4 / ООО «Русэлт». — Режим доступа: <https://www.ruselt.ru/information/elektrodvigateli-vaso/> (дата обращения: 23.02.2026).
8. Inovance MD290. Руководство по эксплуатации. Преобразователь частоты. — Режим доступа: <https://eec.by/news/96> (дата обращения: 23.02.2026).