

Секция IV

**АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОЙ
АППАРАТУРЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.**

УДК 658.567.1:66.078.5

Павлечко В.Н., Францкевич В.С.
(Белорусский государственный технологический университет)
Шалухо Ю.И.
(ОАО «Крион»)

**УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ВТОРОЙ СТУПЕНИ ВОЗДУШНОГО КОМПРЕССОРА**

Вопросы экономии топлива путём использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в последние годы превратились в актуальную проблему и являются общегосударственной задачей. Промышленные потребители используют в настоящее время свыше 60 % всего добываемого топлива и около 70 % всей вырабатываемой электроэнергии. Коэффициент полезного использования энергии в технологических процессах остаётся все ещё невысоким и составляет порядка 35–40 %.

Приблизительно 10 % всей электроэнергии, используемой в промышленности, приходится на системы сжатого воздуха, в которых примерно 95 % подводимой энергии преобразуется в тепло и выпускается в атмосферу вместе с теплом, рассеиваемым двигателем и системой охлаждения.

В процессе эксплуатации компрессорная установка выделяет большой объем внутренней энергии – тепла, выделяющегося из-за работы движущихся внутренних механизмов, а также в процессе сжатия рабочей среды. Чтобы сделать компрессор более экономичным и обеспечить его безопасную работу, вырабатываемое тепло необходимо отводить.

Во многих производящих сжатый воздух установках возможность сбережения энергии путем ее рекуперации значительна, но зачастую не используется. В большинстве отраслей промышленности в цене сжатого воздуха расходы на энергию составляют практически 80 %. В крупнобаритных безмасляных винтовых компрессорах можно рекуперировать до 94 % поставляемой компрессором энергии в виде горячей воды с температурой 90°C. Это означает, что все мероприятия по сбережению энергии характеризуются быстрой экономической отдачей [1].

Жидкостное охлаждение воздушных компрессоров является более эффективным способом снижения тепловой нагрузки, чем воздушный способ. Этим фактом объясняется сфера применения компрессоров с водяным охлаждением – их используют в крупных технологических процессах, на химических заводах, предприятиях металлургии, и других производствах, где необходимо стабильное получение сжатого воздуха в больших объемах.

В одноступенчатых центробежных компрессорах температурные уровни ниже и потому меньше степень рекуперации. Однако рекуперация тепла в мощных многоступенчатых центробежных компрессорах весьма актуальна и реализуема. Так в работах [1, 2] проведен анализ целесообразности рекуперации тепловой энергии в компрессорных станциях на базе компрессорных центробежных установок, показавший перспективность и целесообразность данного мероприятия по энергосбережению.

Рекуперация энергии компрессоров с водяным охлаждением наилучшим образом подходит для компрессоров с мощностью двигателя более 10 кВт. Рекуперация энергии с использованием воды означает использование установки более сложной, чем при использовании воздуха. В этом случае основное оборудование состоит из насосов, теплообменника и регулирующих клапанов.

Используя водяную рекуперацию энергии, можно также подводить тепло к удаленным зданиям с помощью труб относительно малых диаметров (40–80 мм) без существенных потерь тепла. Высокая первоначальная температура дает возможность использовать энергию для повышения температуры обратной воды водогрейного котла. Поэтому обычный нагревательный источник можно периодически отключать и заменять отходящим теплом компрессора.

Срок окупаемости затрат на рекуперацию энергии обычно составляет около 5–8 лет. Рекуперация энергии с помощью замкнутой системы охлаждения означает улучшение условий эксплуатации компрессора, повышение надежности его работы и увеличение сроков службы благодаря поддержанию в компрессоре постоянной температуры и использованию большого количества охлаждающей воды.

В настоящее время на ОАО «Крион», как и во многих крупнотоннажных отраслях промышленности (химической, нефтехимической, газоперерабатывающей) используются многоступенчатые компрессоры, предназначенные для сжатия газа до определенного давления. Газ сжимается в последовательно расположенных ступенях и охлаждается для снижения температуры. Неиспользуемое тепло обычно отводится в окружающую среду, а потенциальное – теряется.

В качестве исходных данных использованы параметры радиального компрессора ОАО «Крион», имеющего 3 ступени сжатия. Сжатый воздух расходом 45000-50000 м³/час после 2-й ступени компрессора имеет давление 1,85-1,95 МПа и температуру 100–120°С. В настоящее время

он охлаждается в кожухотрубном теплообменнике оборотной водой с температурой на входе 26-30°C, на выходе – 36-40°C. Охлажденный сжатый воздух с температурой 43°C подается в 3-ю ступень компрессора и подвергается дальнейшему сжатию.

Тепло сжатого воздуха после 2-й ступени компрессора предлагается использовать для отопления помещений (205 суток в течение года) и для других целей ОАО «Крион». Теплотехнические расчеты выполнены с использованием современных методик [3].

Для утилизации тепла воздуха после 2-й ступени компрессора предлагается следующая схема (рисунок). Первоначально сжатый воздух с температурой 120°C подается в трубное пространство охладителя 2, в котором охлаждается до температуры 70°C. Затем воздух вводится в межтрубное пространство доохладителя 3, после которого его температура снижается до 42°C, и поступает в 3-ю ступень компрессора.

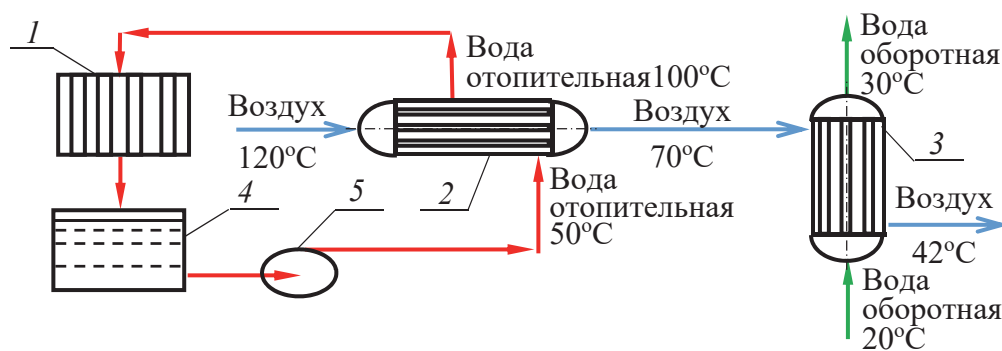


Рисунок 1 – Схема установки утилизации тепла воздуха после 2 ступени компрессора: 1 – потребители тепла; 2 – охладитель воздуха; 3 – доохладитель воздуха; 4 – сборник; 5 – циркуляционный насос

Воздух после второй ступени компрессора подается в трубное пространство охладителя т. к. в нем предполагается меньшее гидравлическое сопротивление по сравнению с межтрубным пространством, в котором размещены поперечные перегородки. В межтрубное пространство охладителя 3 противотоком по отношению к воздуху подается отопительная вода, которая нагревается от 50°C до температуры 100°C и используется для обогрева потребителей 1, охлаждается в них до температуры 50°C, собирается в сборнике 4 и циркуляционным насосом 5 возвращается в охладитель 2. В целом отопительная вода циркулирует по замкнутому контуре и не предполагается ее загрязнение продуктами коррозии или внешними загрязнителями.

В трубное пространство доохладителя 3 противотоком по отношению к воздуху подается оборотная вода, которая нагревается от 20°C до температуры 30°C и направляется в градирню, после охлаждения в которой возвращается в доохладитель 3.

В качестве охладителя 2 предполагается использование нового кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубными решетками

(ХНГ) и с температурным компенсатором на кожухе одноходовой по трубам с поверхностью теплообмена 124 м^2 [3].

В качестве доохладителя 3 предполагается использовать имеющийся кожухотрубчатый теплообменник поверхностью теплообмена 57 м^2 , который в настоящее время используется для охлаждения воздуха оборотной водой после 2-й ступени компрессора.

Производительность насоса 5 для циркуляции отопительной воды $16 \text{ м}^3/\text{час}$. Создаваемый им напор определяется гидравлическим сопротивлением тракта отопительной воды и ориентировочно равен $0,1 \text{ МПа}$ (давление до насоса $0,3 \text{ МПа}$, после него – $0,4 \text{ МПа}$). Для циркуляции оборотной воды может быть использован имеющийся в ОАО «Крион» насос и дополнительных устройств не требуется. Ориентировочный объем сборника 4 – 1 м^3 , в качестве которого возможно использование имеющихся на предприятии емкостей.

Из результатов расчетов следует, что при использовании тепла 2-ой ступени компрессора достигается экономия тепловой энергии $861,98 \text{ кВт} = 4,241 \text{ ГДж}$ или $144,7$ тонн условного топлива в течение отопительного периода длительностью 205 суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шадрин, В.С. Рекуперация тепловой энергии в компрессорных станциях на базе компрессорных центробежных установок / В.С.Шадрин, В.В.Козлов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2016. – № 02. – С. 38–50.

2. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков – Л.: Химия, 1976. – 552 с.

3. Стандартные кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения: Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988. – 40 с.

УДК 661.152.3'1'2'3.022.5.011 (476)

Высоцкая Н.А.
(ЗАО «СИПР с ОП»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НРК-УДОБРЕНИЙ В ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

В технологической схеме производства НРК-удобрений в ОАО «Беларуськалий» в качестве сырья используется кек калия хлористого, аммофос, диаммофос, карбамид, сульфат аммония, микродобавки.