

# Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки

Х. Агюл, Н. Шахин – Friterm A.S.

## In brief

### Combustion turbine inlet air cooling units used in power plants.

For countries in the mild temperate zone such as Turkey, the efficiency offered by cooling turbine inlet air is beyond doubt. Increasing efficiency, maximizing production, thus reducing cost per unit is the crucial edge in today's competitive environment. Detailed knowledge of the materials, performance and construction properties of turbine air coolers, which self-finance its installation and operation costs with the increase in efficiency they provide; shunning applications with short life terms and relatively high risks of malfunction that are not in compliance with the criteria specified in the following article is quite important for investors of the energy sector.

## Окончание статьи. Начало в №2, 2011 г. Конструкционные особенности систем охлаждения воздуха на входе в ГТУ

Для максимально эффективной эксплуатации систем охлаждения вторичным хладагентом необходимо иметь детальную информацию о конструкции системы, материалах, из которых изготовлены ее элементы, и об эксплуатационных параметрах.

### Охлаждающая теплообменная батарея

При разработке конструкции теплообменной батареи нужно учитывать ее размеры, общий расход воздуха через нее, температуру входящего и выходящего воздуха, его относительную влажность на входе, температуру и расход воды на входе и выходе, потери давления в батарее при подаче воды и воздуха, требуемую холодопроизводительность такой системы. Имея данную информацию, производители могут изготовить систему охлаждения, обладающую всеми необходимыми параметрами для наиболее эффективного охлаждения воздуха на входе в ГТУ.

Следует также иметь в виду, что ощутимые потери давления в теплообменной системе негативно сказываются на мощности ГТУ и эксплуатационных затратах при выработке электроэнергии. Необходимо, чтобы общие

потери давления по тракту прохождения воздушного потока – в воздушных фильтрах, теплообменной поверхности и сепараторе капельной влаги не превышали 254 Па (наиболее приемлемый показатель 150...170 Па). Потери давления в водяном тракте системы не должны превышать 80...100 Па. Скорость движения воздушного потока сквозь трубную решетку теплообменной батареи не должна превышать 2,0...2,5 м/с.

Для предотвращения замерзания хладагента в трубах батареи и в циркуляционной системе охлаждения в качестве рабочей жидкости предлагается использовать гликоль. Смесь, содержащая в весовом отношении 20 % или 30 % гликоля, предотвращает замерзание системы при температурах окружающего воздуха  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно.

При разработке конструкции теплообменной батареи значительное внимание уделяется процессам циркуляции – по всем трубкам должно проходить одинаковое количество охлаждающей жидкости. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность удаления из труб всей жидкости или попавшего туда воздуха.

### Система охлаждения

Срок службы систем охлаждения воздуха должен соответствовать сроку службы газотурбинной установки, который составляет обычно 15-20 лет. Его продолжительность зависит, прежде всего, от материалов, из которых изготовлены элементы охлаждающей системы. При этом качество материалов должно соответствовать конкретным условиям эксплуатации оборудования.

Охлаждающая теплообменная батарея должна изготавливаться в соответствии с требованиями SEP (Sound Engineering Practice), которые определены директивой 97/23/ЕС PED (Pressure Equipment Directive), а также стандартом Eurovent 7/C/005-97 (стандарт по определению основных технико-эксплуатационных характеристик систем охлаждения и нагрева воздуха с принудительной циркуляцией) или других независимых организаций. Данные о производительности, потерях давления в системе подачи воздуха и хладагента



Система охлаждения воздуха на входе в газовую турбину

должны основываться на точных результатах испытаний оборудования. В противном случае, эффективность работы будет низкой, что негативно скажется на общем КПД всей системы.

Конструкция теплообменной батареи должна обладать устойчивостью к собственному весу. Оптимальным материалом для изготовления силовых элементов является нержавеющая сталь или сталь с гальваническим покрытием и последующей защитной окраской.

### **Удаление воды из теплообменной батареи и байпасирование**

Поскольку в зимний период отсутствует необходимость эксплуатации систем охлаждения воздуха в том же режиме, что и в теплое время года, всю оставшуюся воду из теплообменной батареи нужно удалить во избежание ее замерзания. Удалить всю воду при горизонтальном расположении трубок змеевика практически невозможно, поэтому трубы должны располагаться вертикально.

В случае когда система охлаждения не эксплуатируется, пропускание воздуха через батарею вызывает падение давления в системе и, следовательно, снижение мощности газовой турбины. В связи с этим используется байпасирование теплообменной батареи, при этом количество байпасных каналов (и их размеры) должно быть достаточным для обеспечения требуемого ГТУ количества воздуха.

При движении капель конденсированной жидкости вниз по поверхности труб теплообменника часть капель под действием силы тяжести срывается с поверхности воздушным потоком и выпадает на каплеотбойнике, который расположен на выходе из блока охлаждения воздуха. В теплообменной батарее с вертикальным расположением трубок их ребра располагаются горизонтально (и наоборот – при горизонтальном расположении). Friterm рекомендует вертикальное размещение труб в теплообменном блоке.

### **Трубы теплообменника**

Расположение труб в теплообменнике при вертикальной компоновке является более практичным, чем при горизонтальной, а также более компактным. При этом затраты на техническое обслуживание системы значительно ниже. Кроме того, выпуск воздуха из коллектора при вертикальной компоновке труб является более простым.

Наиболее приемлемый материал для изготовления труб теплообменника, с точки зрения технических параметров и стоимости, – это медь. Наиболее важным параметром при этом



является толщина стенок трубы – рекомендуемый диапазон составляет 0,63...1,0 мм.

В ходе изготовления выполняется напрессовка на трубы алюминиевых ребер, в результате чего образуется трубчато-ребристый теплообменник на основе медно-алюминиевой композиции. Для эффективного теплообмена между трубами и ребрами необходимо идеальное механическое соединение.

Чтобы обеспечить устойчивость теплообменника к коррозии при эксплуатации на открытом воздухе, применяются эпоксидные или полиуретановые покрытия ребер. Рекомендуемая толщина ребер – 0,25 мм, но она может варьироваться в пределах 0,15...0,25 мм. Поверхность ребер должна быть плоской (для обеспечения минимального падения давления). Расстояние между ребрами составляет 3,2 мм, оптимальное – 4 мм, с целью снижения сопротивления и во избежание загрязнения теплообменника.

Для изготовления труб входного и выходного воздушного коллектора чаще всего используется медь, однако может применяться и нержавеющая сталь. Диаметр трубы коллектора определяется стандартами в зависимости от требуемой производительности охлаждающей теплообменной батареи. Толщина стенок коллектора зависит от его диаметра.

Система должна включать в себя также дренажный патрубок теплообменника для удаления из него остатков воды при остановке системы. Необходимо учитывать, что трубы входного/выходного коллектора – неразборные. В системе с вертикальной компоновкой труб входные и выходные фланцы находятся в нижней части блока.

**Оборудование для продувки труб**

**Корпус блока охладителя**

В состав блока охлаждения входят теплообменная батарея, каплеотбойник, воздушные фильтры, дренажный поддон. Для изготовления элементов корпуса чаще всего применяется нержавеющая сталь. При использовании блока в нейтральных, с точки зрения коррозии, условиях корпус может быть изготовлен из другой стали, но с гальваническим покрытием и с обязательным нанесением защитных покрытий на основе материалов с высокой устойчивостью к ультрафиолетовому излучению. Данный вариант более экономичен по сравнению с первым.

Для корпуса блока охладителя воздуха наиболее подходят листы из нержавеющей стали. Обшивка также должна быть изготовлена из листов нержавеющей стали, при ее установке следует обратить внимание на то, чтобы не деформировались медные трубы теплообменника. Важно также не повредить обшивку в процессе теплового расширения или сжатия.

Все соединения в корпусе выполняются методом высокотемпературной пайки с использованием твердого припоя на базе сплава серебра в форме проволоки. Немаловажно при этом, чтобы специалисты, выполняющие пайку компонентов, имели достаточный опыт работы в этой области.

После сборки охлаждающая теплообменная батарея должна быть испытана под давлением не менее 2 МПа. С целью удаления загрязняющих веществ (например, масла) с поверхности теплообменника, он тщательно промывается водой под давлением с добавлением моющих средств. После промывки оборудование необходимо тщательно просушить.

Конструкция батареи должна обеспечивать прохождение потока воздуха только через трубную решетку теплообменника. При этом рекомендуется использовать специальные алюминиевые профили и уголки в составе корпуса с целью предотвращения коррозии элементов в результате атмосферных воздействий. Для повышения устойчивости компонентов к коррозии часто применяются специальные эпоксидные или полиэфирные покрытия.

**Воздушные фильтры**

Пыль, грязь и т.д., накапливающиеся на теплообменной поверхности батареи, со временем приводят к значительному снижению эффективности работы оборудования. Для предотвращения этого на входе в воздушный тракт батареи устанавливаются воздушные фильтры. При этом необходимо обращать внимание на то, чтобы они не приводили к избыточной потере давления. Наиболее предпочтительным здесь является использование полиуретановых

фильтров типа EU2/Eurovent 4/5 (G2/EN 779). Воздушные фильтры типа EU3 также могут применяться, однако при этом падение давления значительно выше, чем у фильтров типа EU2.

Фильтры кассетного типа нужно регулярно очищать. Использование компонентов из нержавеющей или оцинкованной стали с защитным покрытием гарантирует длительный срок службы. Конструкция фильтров должна обеспечивать их легкий монтаж и демонтаж. Чтобы не повредить фильтры при транспортировке блока охлаждения, их обычно устанавливают уже на месте эксплуатации после монтажа основного оборудования.

**Дренажный поддон**

Для сбора и отвода воды, конденсирующейся на теплообменной поверхности батареи, в нижней части блока устанавливается специальный дренажный поддон. Его ширина должна быть достаточной, чтобы обеспечить отвод воды также и из каплеотбойника. Дренажный поддон изготавливается из нержавеющей стали.

Конструкция поддона должна обеспечить достаточный объем для сбора воды, а также ее легкий отвод из системы через дренажные каналы, диаметр которых зависит от объема воды. На выходе из дренажной системы предусмотрен специальный сифон.

**Каплеотбойник**

Каплеотбойник используется в охлаждающей батарее для предотвращения попадания капель воды с потоком воздуха в газовую турбину. Обычно он изготавливается из алюминия. Капли воды при прохождении через каплеотбойник оседают на его поверхности и под действием силы тяжести стекают в дренажный поддон. Конструкция каплеотбойника должна предусматривать минимальное падение давления в системе. **Т**

*Использованная литература*

1. *Combustion Turbine inlet air cooling systems*, William E. Stewart, Jr. ASHRAE Publications.
2. *ASHRAE Handbook 2000 Systems and Equipment*.
3. Mr. David Flin. *Combustion Turbine inlet air cooling*. — *Energy&Cogeneration World*, September 2004 issue (*Cospp Cogeneration&On Site Power*, July-August 2004).
4. *Friterm A.S. Technical Documents*.

**Тел./факс +7 495 780 90 33**

**Тел. +7 495 502 56 45**

**E-mail: info@fritermrus.ru**

**www.fritermrus.ru**

**www.friterm.com**