

Использование АБХМ в системах охлаждения воздуха на входе в компрессор ГТУ

А. Д. Цхяев – ОАО «Энекс», филиал ЮжВТИ

Т. Г. Кузьмина, к.т.н. – ООО «ЭСТ», С.-Петербург

Предлагаемые материалы базируются на многолетнем опыте авторов по внедрению абсорбционных холодильных машин (АБХМ) и абсорбционных тепловых насосов (АБТН) для нужд энергетики.

В статье проанализированы результаты, достигаемые при охлаждении воздуха на входе в компрессор газовой турбины абсорбционными бромисто-литиевыми холодильными машинами.

In brief

Application of absorption chillers in the systems of air cooling at the inlet of gas turbine plant compressor.

During the operation of gas turbine under standard conditions air content in air-fuel mixture is 98%. During warm period of the year thermophysical properties of air change. Rising of humidity and decrease of density of the air lead to derating of gas turbine plant and increase in gas consumption. Cooling of the air gives the opportunity to compensate these negative factors. The most effective way of compressor inlet air cooling is the application of absorption chillers. It guarantees maximal level of air cooling. Power resource for absorption chillers operation is waste thermal power (exhaust gases, steam extraction, hot water, etc.). The choice of power source depends on gas turbine plant design, piping layout, possible location of absorption chillers and economic aspects.

При эксплуатации газовой турбины в штатных условиях содержание воздуха в составе газозвушной смеси достигает 98%. В теплый период года теплофизические свойства воздуха меняются. Повышение температуры и снижение плотности воздуха приводит к снижению электрической мощности ГТУ, увеличению удельного расхода топлива.

Охлаждение воздуха на входе в турбину (ТИАС – Turbine Inlet Air Chilling) позволяет компенсировать эти негативные факторы. Из трех способов ТИАС: применение испарительных охладителей, мелкодисперсное распыление воздуха за фильтром и применение холодильных машин – последний позволяет получить максимальную глубину охлаждения, в т.ч. ниже точки росы.

Тип холодильных машин, используемых в системе ТИАС, определяется условиями и режимом работы электростанций. Применение

абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машин, как правило, является оптимальным решением. Энергетическим ресурсом для их работы служит тепловая энергия (уходящие газы, паровые отборы турбин, горячая вода с пароводяных подогревателей), которая зачастую просто выбрасывается в атмосферу. Применение парокомпрессионных холодильных машин (ПКХМ) со значительной электрической нагрузкой увеличивает потребление собственных нужд энергоцентра, и достигаемый от охлаждения полезный эффект снижается. В некоторых случаях, например, в условиях жесткого ограничения потребления пресной воды, в системе применяется комбинация АБХМ-ПКХМ.

Схема установки ТИАС

На рис. 1 представлена схема установки охлаждения воздуха с применением АБХМ.

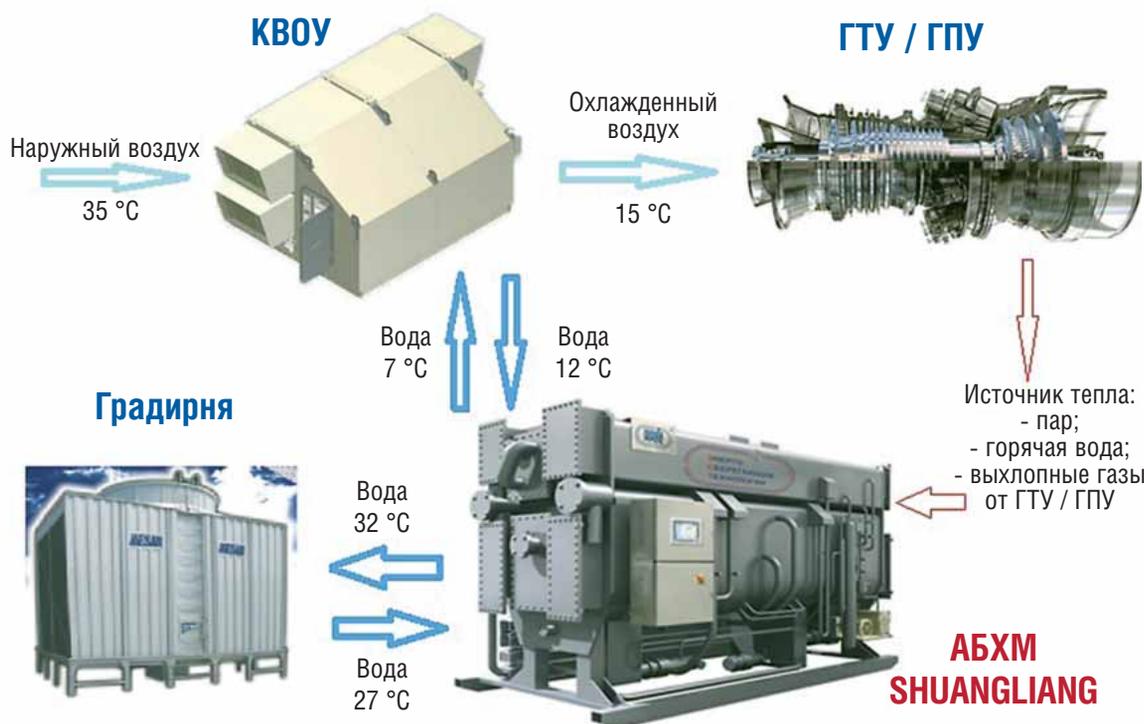


Рис. 1. ↻

Схема установки
охлаждения воздуха
с применением АБХМ

Табл. Характеристики АБХМ Shuangliang Eco-Energy Systems, используемых в системе ТИАС

Тип греющего источника	Параметры	Серия	COP	Примечание
Горячая вода	$T_{\text{вх}} = 130 \dots 75 \text{ } ^\circ\text{C}$	HSA (одноступенчатая АБХМ)	0,8	Чем больше разность температур $T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}$, тем меньше электропотребление ТИАС
	$T_{\text{вых}} = 60 \dots 100 \text{ } ^\circ\text{C}$	HSB (двухступенчатая АБХМ)		Чем выше температура $T_{\text{вх}}$, тем лучше массогабаритные и стоимостные показатели АБХМ
Пар	Давление изб. $P = 0,1 \dots 0,8 \text{ МПа}$	SS (одноступенчатая АБХМ для низкого давления пара)	1,45	Чем выше давление пара, тем лучше массогабаритные и стоимостные показатели АБХМ.
		ST (двухступенчатая АБХМ для давления пара более 0,4 МПа, работает в режиме охлаждения и нагрева)		Конденсат температурой $95 \dots 85 \text{ } ^\circ\text{C}$ возвращается в систему
Отходящие газы	Температура $300 \dots 800 \text{ } ^\circ\text{C}$	УХ (двухступенчатая АБХМ, работает в режиме охлаждения и нагрева)	1,4	Чем выше температура отходящих газов, тем лучше массогабаритные и стоимостные показатели АБХМ АБХМ снижает температуру отходящих газов до $170 \text{ } ^\circ\text{C}$

Примечание. В случае если одного источника энергии для работы АБХМ недостаточно, можно использовать комбинированные АБХМ (пар/вода, отходящие газы/пар). АБХМ с прямым сжиганием топлива серии DF (Direct fire) в системах ТИАС не применяются.

Назначение элементов установки:

- АБХМ охлаждает хладоноситель (антифриз, вода), подаваемый в теплообменник КВОУ. При этом электрическая энергия потребляется только для работы циркуляционных насосов, а энергетическим ресурсом для АБХМ служит пар (горячая вода, отходящие газы).
- КВОУ – комплексное воздухоочистительное устройство, которое обеспечивает подготовку воздуха на входе в турбину, включая его фильтрацию и охлаждение (в случае оснащения КВОУ системой ТИАС). Влага, выпадающая из охлажденного воздуха, представляет собой качественный конденсат и поэтому подлежит сбору и полезному использованию на собственные нужды электростанции.
- Градирня предназначена для отведения от АБХМ низкопотенциальной «отработанной» тепловой энергии, объем которой определяется как сумма тепла, поступившего с потоками греющего источника и охлаждаемого воздуха.

Выбор типоразмера АБХМ

Сравнительный анализ характеристик АБХМ на примере оборудования одного из мировых лидеров в производстве абсорбционных машин Shuangliang Eco-Energy Systems (Китай) приведен в табл.

Выбор типа греющего источника определяется конструктивным исполнением ГТУ, трассировкой трубопроводов, местом возможного размещения АБХМ, а также экономическими факторами.

Эффективность АБХМ характеризуется коэффициентом COP (Coefficient of performance), т.е. отношением холодопроизводительности Q_0 к потребляемой тепловой мощности Q .

$$COP = Q_0 / Q$$

Мощность АБХМ рассчитывается исходя из требования по достигаемому значению температуры охлаждаемого воздуха при заданной влажности и заданных климатических показателях. В большинстве источников приводятся результаты расчета эффекта при охлаждении воздуха от среднемесячной температуры до $15 \text{ } ^\circ\text{C}$. Более рациональной следует признать методику, которая позволяет найти оптималь-

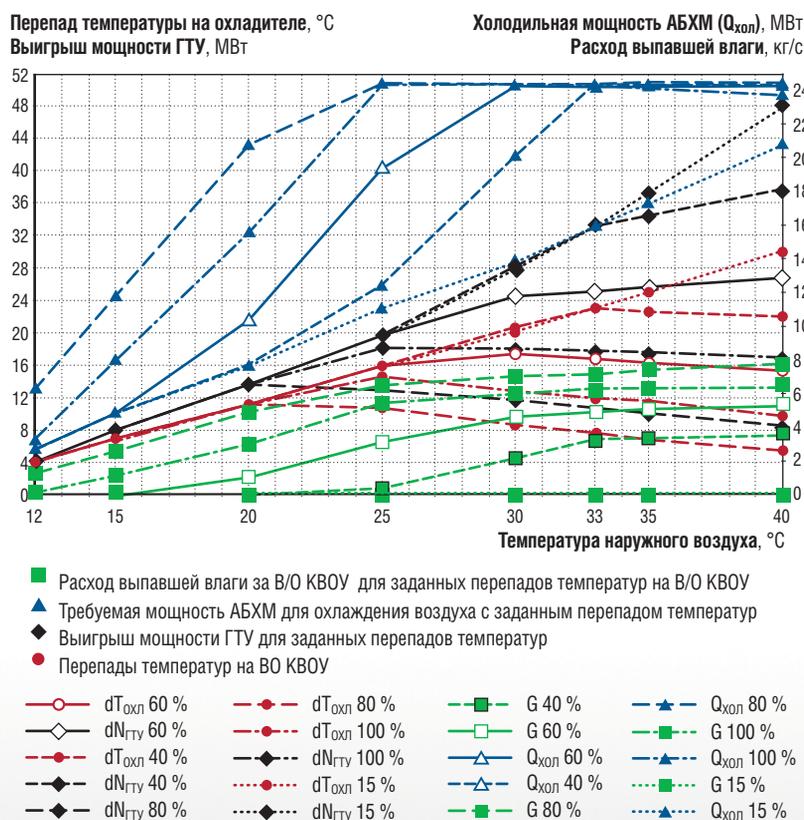


Рис. 2. Расход выпавшей влаги за В/О КВОУ при различной влажности и температуре наружного воздуха для заданных перепадов температур на В/О КВОУ, требуемая мощность АБХМ и выигрыш мощности ГТУ ($N_{\text{АБХМ}} = 24000 \text{ кВт}$)

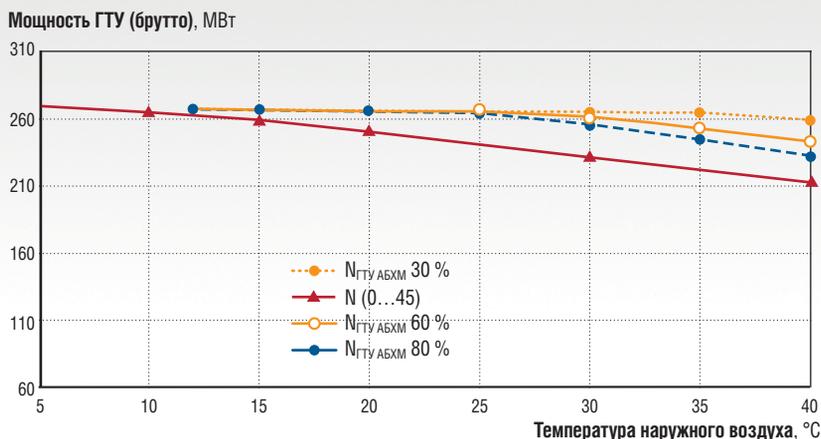


Рис. 3. Характеристики GE 9351 FA при нагрузке 100 %

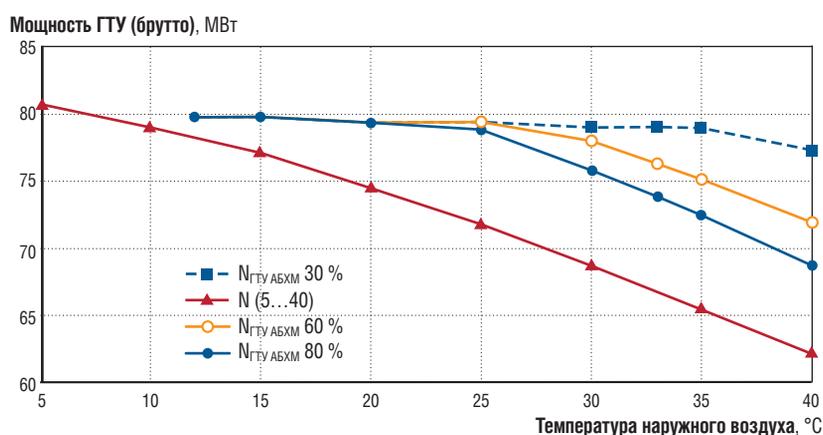


Рис. 4. Характеристики ГТУ MS6001FA (PG6111) при нагрузке 100 % и охлаждении воздуха при $N_{АБХМ} = 12$ МВт

ную холодопроизводительность АБХМ по критерию минимизации приведенных затрат.

В первом случае расчеты более простые, и именно их используют на этапе составления и защиты бизнес-плана. Оптимизацию расчетной величины холодопроизводительности можно выполнять уже на этапе проектирования или предпроектирования, поскольку оптимизационные расчеты могут только улучшить предварительно полученные технико-экономические показатели.

На рис. 2 показано, что при учете климатических характеристик (влажность, температура) существует возможность снижения требуемой холодопроизводительности при сохранении эффекта (сухой степной воздух). Видно также, что при одной и той же температуре воздуха при разной его влажности обеспечивается различный эффект охлаждения.

Показано, что расход выпадающей влаги (за счет осушения воздуха при его охлаждении) может быть настолько значителен, что использование конденсата для стационарных нужд вполне целесообразно.

Эффект применения ТИАС определяется следующими основными факторами:

- характеристиками ГТУ;
- климатическими условиями;
- выбором греющего источника;
- характеристиками паровой турбины (для ПГУ);
- выбором номинальной холодопроизводительности и параметров АБХМ;
- конструкцией КВОУ (или дополнительного охладителя КВОУ);
- выбором вспомогательного оборудования, в том числе градирни, насосных групп;
- организацией системы циркуляции по каждому контуру, выбором параметров системы в целом и по каждому контуру в отдельности.

Расчетные и достигнутые результаты Газотурбинные установки GE 9351 FA и ПГУ на их базе

Охлаждение воздуха, входящего в компрессор установки GE 9351 FA, с использованием АБХМ. Расчетная холодопроизводительность (24 МВт) определена по данным ГТУ и климатическим показателям района.

Расчетные (ожидаемые) результаты применения ТИАС-системы следующие (рис. 3):

- увеличение мощности ГТУ на 46 МВт (с 214 до 260 МВт – зависит от температуры и влажности наружного воздуха);
- повышение КПД до 2,2 % (зависит от температуры и влажности наружного воздуха);
- увеличение энергии выхлопных газов, что приводит к увеличению расхода пара, выдаваемого котлом-утилизатором, и повышению мощности ПТУ.

Газотурбинные установки MS6001FA (PG6111FA) и ПГУ на их базе

Охлаждение воздуха, входящего в компрессор ГТУ MS6001FA, с использованием АБХМ. Расчетная холодопроизводительность АБХМ (12 МВт) определена по характеристикам ГТУ и климатическим показателям района.

На рис. 4 представлены характеристики мощности MS6001FA без охлаждения и с охлаждением воздуха на входе в компрессор ГТУ с помощью АБХМ суммарной холодильной мощностью 12 МВт для влажности наружного воздуха 30, 60 и 80 %.

Расчетные (ожидаемые) результаты применения ТИАС-системы:

- увеличение мощности ГТУ на 18 МВт (с 62 до 80 МВт – зависит от температуры и влажности наружного воздуха);
- повышение КПД до 2 % (зависит от температуры и влажности наружного воздуха);
- увеличение энергии выхлопных газов, что приводит к увеличению расхода пара, выдаваемого котлом-утилизатором, и повышению мощности ПТУ.



↶ Газотурбинный двигатель MS6001

ваемого котлом-утилизатором, и повышению мощности ПТУ.

При расчете эффективности применения ТИАС-системы для ПГУ в целом следует анализировать конструкцию котла-утилизатора, расчетно-справочные данные паровых турбин. При использовании АБХМ с паровым подогревом важно оценить влияние отбора пара на эффективность работы паровой турбины.

Газотурбинные установки LM6000PF Sprint и ПГУ на их базе

В мае текущего года на ПГУ-110 компанией «Лукойл-Астраханьэнерго» введена в эксплуатацию первая в России ТИАС-система. При реализации данного проекта применено запатентованное ПАО «Лукойл» техническое решение по интеграции АБХМ в тепловую схему станции.

Система охлаждения обслуживает две аэродеривационные газотурбинные установки LM6000PF Sprint номинальной электрической мощностью по 47 МВт и расходом воздуха по 117 кг/с (при температуре наружного воздуха +15 °С).

Для охлаждения воздуха применены две абсорбционные холодильные машины HSA1157 суммарной холодопроизводительностью 7400 кВт производства Shuangliang Eco-Energy Systems (поставщик ООО «Энергосберегающие технологии», С.-Петербург). Греющим источником АБХМ является вода температурой 95/85 °С, нагрев которой обеспечивается за счет утилизации сбросного тепла уходящих газов в газоводяном подогревателе котла-утилизатора (ГВП КУ). Недостающее тепло для работы АБХМ с требуемой для охлаждения воздуха холодильной мощностью покрывается догревом воды в пароводяном теплообменнике.

Результаты первого сезона эксплуатации ТИАС-системы подтвердили расчетные характеристики и показали ее надежность и высокую эффективность. При максимальных температурах наружного воздуха выше 40 °С увеличение мощности ПГУ достигало 23,6 МВт с увеличением КПД на 2 %. Столь значительный эффект обусловлен особенностями аэродеривационных турбин, для которых характерно значительное снижение мощности с повышением температуры наружного воздуха (при высоких температурах потери мощности достигают 30 % от номинальных значений). ▢

Новости

Масложировой комбинат в Республике Адыгея обеспечен электрической и тепловой энергией.

В ауле Егерухай по заказу ООО «Мамруко» построена газопоршневая электростанция. Основное оборудование поставило ЗАО «Элтеко Глобал». В состав мини-ТЭС входят две когенерационные установки Petra 750С электрической мощностью по 610 кВт и тепловой – по 776 кВт, созданные на базе двигателей Perkins 4012 TESI.

Энергоблоки укомплектованы теплообменниками: раствор гликоля/вода и продукты сгорания/раствор гликоля. Двигатель оснащен системой автоматического пополнения масла. Система управления построена на базе контроллера IntelliSys-NT. Глушитель шума выхлопа изготовлен из нержавеющей стали, уровень шума – 45 дБ(А).

Выработку электрического тока напряжением 0,4 кВ обеспечивают генераторы компании Stamford. Оборудование имеет контейнерное исполнение и установлено на территории комбината. Режим работы – базовый. Мини-ТЭС работает в составе локальной сети и не синхронизирована с энергосистемой.

Масложировой комбинат «Мамруко» производит подсолнечное масло только высшего сорта. Продукция комбината экспортируется в Азербайджан, Грузию, Иорданию, Казахстан, Таджикистан, Японию.