

Повышение эффективности работы ГТУ-ТЭС «Международная» в теплый период года

В. В. Карпов, А. А. Митин – ОАО «ТПЕ-Сити»

С. А. Гынденев – ООО «Ситизнерго»

Охлаждение воздуха на входе ГТУ в летний период позволяет значительно увеличить мощность газотурбинного двигателя и его КПД.

IN BRIEF

Mezhdunarodnaya gas turbine station operation efficiency increasing during hot seasons.

At the increasing of intake air temperature in the compressor of gas turbine power plant its output is lowering and the fuel gas consumption is rising. There are various technical schemes for the cooling of intake air. One of them is based on the application of absorption chillers. This scheme is considered as the most perspective. However, to present day the methods of absorption chillers selection were not developed and proved. But this parameter is the most important because it determines the range of necessary capital investments for the project realization.

Известно, что при повышении температуры воздуха на всасывании в компрессор ГТУ объем вырабатываемой электрической мощности снижается, а объем потребления газа повышается. Существуют различные технические схемы охлаждения воздуха, среди которых применение абсорбционных холодильных машин (АБХМ) считается наиболее перспективным [1, 2, 3, 4]. Однако до настоящего времени не были разработаны и обоснованы методы для выбора холодильной мощности, а именно этот показатель определяет величину капитальных затрат на реализацию идеи.

При традиционном подходе, для оценки эффективности охлаждения на входе в компрессор выполняется расчет мощности, необходимой для охлаждения воздуха в диапазоне от 30 °С до 15 °С, с учетом уровня влажности, характерного для данного региона. Почему именно в этом диапазоне, никто не задается вопросом, поскольку действует «гипноз» стандартного графика зависимости электрической мощности N_e от температуры воздуха t_n , который часто приводится в технической литературе (для стендовых условий испытания турбины). И этот график имеет «переломы» именно в точках 15 °С и 30 °С. Тогда как реальный график, например, для турбины SGT-800 производства Siemens, установленной на ТЭС «Международная», следуя той же логике, обуславливает необходимость снизить тем-

пературу воздуха, скорее, до 18 °С, но с какого уровня – неизвестно (рис. 1).

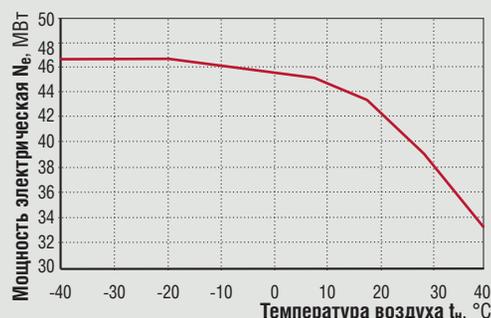
Согласно расчетам, выполненным по традиционной методике, необходима холодильная установка мощностью 4,8 МВт. Исходная относительная влажность воздуха была принята равной 70 %. При этом такие важнейшие моменты, как количество дней в московском регионе с температурой 30 °С, технико-экономические показатели при других заданных диапазонах снижения температуры, в рамках такого подхода не учитываются.

Разработанная авторами методика дала совершенно другие результаты. Ее идея заключается в следующем:

- использовать статистику климатических параметров региона;
- использовать «реальные», а не стендовые характеристики ГТУ;
- рассчитать сумму стоимости дополнительно вырабатываемой энергии и сэкономленного топлива при различной степени охлаждения воздуха (при различной мощности);
- определить стоимость оборудования, необходимого для реализации системы охлаждения на каждом уровне мощности;
- разработать критерий, позволяющий объективно оценить расходы и доходы и определить срок окупаемости применения АБХМ для охлаждения воздуха на входе в компрессор газовой турбины SGT-800;
- оценить эффективность внедрения данного мероприятия в условиях «холодное – среднестатистическое – жаркое лето»;
- на основе всех расчетов принять обоснованное решение.

Для разработки методики в качестве исходных данных использовались эксплуатационные характеристики турбины SGT-800, позволившие оценить при различной температуре окружающего воздуха расход топлива и электрическую мощность (табл. 1). При этом учитывались климатические характеристики месторасположения ТЭС «Международная». Принятая стоимость реализу-

Рис. 1. График зависимости электрической мощности турбины SGT-800 от температуры окружающего воздуха



емой электроэнергии составляла 1,3 р./кВт·ч; стоимость закупаемого газа – 3,7 р./м³.

На основе параметров систем холодоснабжения, теплообменников, приточных установок и градирен были выведены показатели температуры, влажности, плотности приточного воздуха при расчетных значениях для каждого месяца сезона (с мая по сентябрь), с учетом минимальных, средних и максимальных среднемесячных температур.

Оценка стоимости всей системы (а не только одной АБХМ) была необходима для того, чтобы определить рациональность применения охлаждения, а также сроки окупаемости всей установки. Цель теплофизических расчетов – определение температуры приточного воздуха, достигаемой в каждой расчетной точке, чтобы затем оценить экономический эффект от возможного увеличения электрической мощности и экономии топлива.

Разумеется, с увеличением установленной мощности холодильного оборудования достигается лучший технический результат. Однако и стоимость реализации при этом повышается. Для объективного сравнения вариантов авторами был предложен экономический критерий оптимизации. Такой подход является новаторским, и полученные результаты значительно меняют наши представления об уровне оптимальной холодильной мощности.

Предложенный критерий оптимизации – максимум ежегодной прибыли от внедрения мероприятий за вычетом амортизационных отчислений:

$$П = Д - 0,15 \cdot К,$$

где $П$ – критерий оптимизации, ежегодная условная прибыль от реализации мероприятий; $Д$ – дополнительный доход от реализации мероприятий, равный сумме стоимости дополнительно реализованной электроэнергии и стоимости сэкономленного газа; $К$ – капитальные затраты на реализацию системы; $0,15 \cdot К$ – амортизационные отчисления.

Расчеты производились для максимальных, минимальных и средних месячных значений. Практическую значимость имеют показатели для средних месячных значений. Полученные результаты представлены на графиках рис. 2, откуда видно, что экономически оправданным оптимальным значением является мощность 2 МВт, а не 4,8 МВт.

Более того, очевидно, что в условиях холодного лета при минимальных месячных температурах применение АБХМ мощностью свыше 2,3 МВт приводит не к экономическому эффекту, а к существенным финансовым потерям.

Структурная схема системы охлаждения приведена на рис. 3.

Табл. 1. Эксплуатационные характеристики турбины SGT-800 на 100 %-й нагрузке

Температура окружающего воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Электр. мощность, кВт	Электр. КПД, %	Вырабатываемое количество тепла, кДж/кВт·ч	Расход топлива, кг/с
37	70	34879	34,25	10512	2,074
30	70	39530	35,56	10123	2,264
20	70	42048	36,16	9955	2,368
10	70	44134	36,45	9876	2,466
0	70	46039	36,6	9837	2,562
-10	70	47997	36,76	9793	2,659
-15	70	48000	36,76	9795	2,660
-20	70	48000	36,71	9807	2,663
-30	70	48000	36,48	9869	2,680
-35	70	48000	36,3	9918	2,693
-42	70	48000	35,98	10005	2,717

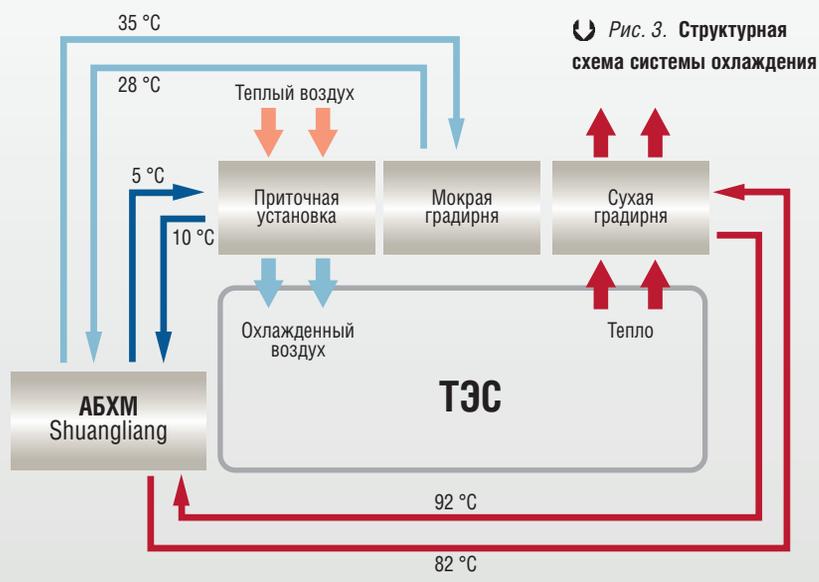
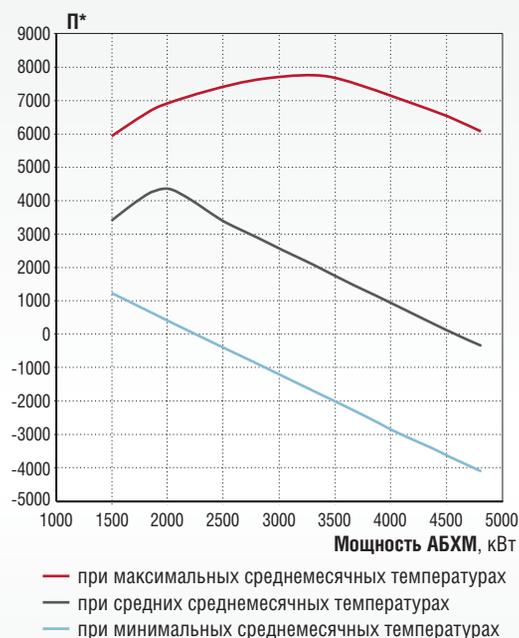


Табл. 2. Сводные экономические показатели для ГТУ SGT-800 для среднемесячных температур

Мощность АБХМ, кВт	1500	1980	2500	2850	3410	4510	4800
Стоимость дополнительно выработанной электроэнергии, тыс. р. в год	5098	6698	6517	6517	6517	6517	6517
Стоимость сэкономленного за теплый период года топлива, тыс. р. в год	765	899	950	950	950	950	950
Д – годовой суммарный эффект, тыс. р.	5864	7597	7467	7467	7467	7467	7467
К – стоимость холодильной установки (АБХМ, теплообменники, градирни, насосы, системы автоматики, в т.ч. СМР и проектирование)*, тыс. р.	16320	21600	27200	31000	37000	49000	52000
П*	3416	4357	3387	2817	1917	117	-333

* Расчеты выполнялись по данным, предоставленным ООО «ЭРСТ» – поставщиком чиллеров Shuangliang (Китай)

В табл. 2 приведены сводные экономические показатели энергоблока (для одной турбины) в рассматриваемом диапазоне мощностей.

Выводы:

1. Применение системы, рассчитанной с использованием традиционного подхода к определению мощности, в некоторых случаях не только не дает экономического эффекта, но может привести к отрицательному результату.

2. Учитывая среднемесячные температуры и экономические критерии оптимизации для установки SGT-800, расположенной на ТЭС «Международная», следует ориентироваться на ГТУ с холодильной мощностью около 2 МВт. Значительные отклонения от рекомендуемого значения в большую или меньшую сторону приведут к резкому увеличению срока окупаемости системы. Дополнительных поступлений от реализации мероприятий для традиционно рекомендуемых установок большой мощности будет недостаточно даже для формирования амортизационных отчислений. Особенно в том случае, когда лето холодное. Но данный вывод не распространяется на другие регионы и другие типы ГТУ.

3. После применения рекомендуемой системы охлаждения воздуха при средних климатических показателях ежегодные дополнительные поступления от реализации электроэнергии вместе со стоимостью сэкономленного топлива составят 7597 тыс. рублей на одну ГТУ. При колебаниях среднемесячных температур от минимальных до максимальных ежегодные поступления от реализации дополнительной электроэнергии составят от 3264 тыс. до 8789 тыс. рублей. Суммарный экономический эффект находится в диапазоне 3704 - 10147 тыс. рублей.

4. Учитывая амортизационные отчисления, равные 0,15-К, при средних сезонных температурах срок окупаемости рекомендуемого оптимального варианта составит 5 лет (для данного

конкретного случая). Срок окупаемости в значительной мере зависит от температурных показателей сезона.

При реализации системы охлаждения рационально обеспечить энергией холода и прочие потребности ТЭС (системы кондиционирования вспомогательных помещений, реализовать охлаждение проб). В таком случае, во-первых, эти процессы будут осуществляться одновременно, а во-вторых, в качестве источника энергии для системы охлаждения проб и кондиционирования воздуха можно использовать «бросовое» тепло горячей воды градирни. Это позволит также снизить собственные нужды электростанции в электропотреблении.

5. Предложенная методика имеет универсальный характер и может быть рекомендована к использованию проектными и энергетическими компаниями для любых ГТУ и в любом регионе. Особенно она эффективна для южных регионов.

Использованная литература:

1. *Enhancing gas turbine output through inlet air cooling* (авторы: Kamal N. Abdalla, Zuhair A. M. Adam);

2. *Evaluation of combustion turbine inlet air cooling systems* (авторы: Sanjeev Jolly, P.E. Joseph Nitzken, P.E., Donald Shepherd, Caldwell Energy & Environmental, Inc.);

3. *Assessment of Power Augmentation from Gas Turbine Power Plants Using Different Inlet Air Cooling Systems* (авторы: Q.M. Jaber, J.O. Jaber (Faculty of Engineering Technology, Al-Balqa' Applied University), M.A. Khawaldah (Directorate of Royal Maintenance Corps, Jordan Armed Forces));

4. «A novel concept for reducing water usage and increasing efficiency in power generation» (University Of Pittsburgh Chemical & Petroleum Engineering Dept, Weismantel International).