

УДК 621.57

Н.И. РАДЧЕНКО, РАМИ ЭЛЬГЕРБИ

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина***ЭФФЕКТ ОТ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ ЛИВИИ**

Проанализирована эффективность применения охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок теплоиспользующими холодильными машинами, утилизирующими теплоту отработавших газов, для регионов Ливии, в которых сосредоточено производство электроэнергии. Показано значительное влияние климатических условий эксплуатации и, соответственно, глубины охлаждения воздуха на экономию топлива. Рассчитана экономия топлива за счет охлаждения воздуха на входе газотурбинных установок электростанций разных регионов с учетом климатических условий и суммарных мощностей электростанций. Определены регионы, в которых охлаждение воздуха на входе газотурбинных установок обеспечивает наибольшее сокращение потребления топлива.

Ключевые слова: газотурбинная электростанция, расход топлива, охлаждение воздуха, теплоиспользующая холодильная машина, температура.

1. Анализ проблемы и постановка цели исследования

Основу электроэнергетической отрасли Ливии составляют газовые турбогенераторы. Вся общенациональная сеть электростанций (ЭС) разбита на 6 регионов в соответствии с объемами потребления и производства электроэнергии [1]. Максимальные объемы потребления электроэнергии приходятся на жаркие месяцы (июнь–август). Эффективность же электрогенерирующих газотурбинных установок (ГТУ) в летние месяцы, наоборот, резко снижается из-за уменьшения плотности наружного воздуха на входе компрессора и, соответственно, его расхода, возрастания удельной работы сжатия при высокой температуре наружного воздуха $t_{нв}$, следствием чего является увеличение удельного расхода топлива b_e и падение эффективной мощности ГТУ N_e до 80 % номинальной величины N_{e15} (соответствующей температуре 15 °С, ISO 3977) в июле–августе, когда температура $t_{нв}$ доходит до 35...40 °С. Поэтому при составлении региональных и общенационального энергетических балансов, наряду с объемами потребления и выработки электроэнергии, учитывается температурный фактор [1].

Об ухудшении термодинамической и, соответственно, топливной эффективности ГТУ с повышением температуры воздуха на входе свидетельствуют также данные [2], согласно которым повышение температуры воздуха $t_{нв}$ на 10 °С вызывает снижение КПД на 2 % и соответствующее (на 2 %) возрастание удельного расхода топлива b_e в ГТУ LM2500+ фирмы "General Electric" ($N_e = 27$ МВт при

$t_{нв} = 15$ °С), а для ГТУ LM1600 ($N_e = 15$ МВт) ухудшение КПД и b_e составляет примерно 1,6 %.

Следовательно, проблема демпфирования отрицательного влияния высоких температур наружного воздуха на входе на эффективность ГТУ стоит в энергетике Ливии остро. Поскольку тепловой потенциал отработавших газов ГТУ весьма высокий (температура газов 450...500 °С для ГТУ простой схемы), то для охлаждения воздуха целесообразно применять теплоиспользующие холодильные машины (ТХМ), утилизирующие теплоту газов. В качестве рабочего тела ТХМ используют озонобезопасные хладагенты R142В и R600 (эжекторные ТХМ – ЭХМ), аммиак в абсорбционных водоаммиачных (АХМ) или воду, кипящую под вакуумом, в абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах (АБХМ).

Климатическая карта Ливии характеризуется значительными различиями тепловлажностных условий эксплуатации ГТУ (температура, влажность) и, прежде всего, в регионах концентрации производства электроэнергии газотурбинными электростанциями. Следовательно, глубина охлаждения воздуха на входе ГТУ и, соответственно, эффект от его применения (экономия топлива) в указанных 6 регионах будут также разными.

Цель исследования – оценка эффективности применения охлаждения воздуха на входе ГТУ в регионах, в которых сконцентрировано производство электроэнергии, с учетом климатических условий эксплуатации.

2. Результаты исследования

Климатические условия Ливии отличаются значительным разнообразием в зависимости от региона. При одинаково высоких температурах воздуха его влажность колеблется от 70...80 % в при-

брежных регионах до 40 % и ниже в районах, примыкающих к Сахаре.

Об экономии топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ в ТХМ от текущей $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ для регионов г. Триполи и Хон можно судить по рис. 1.

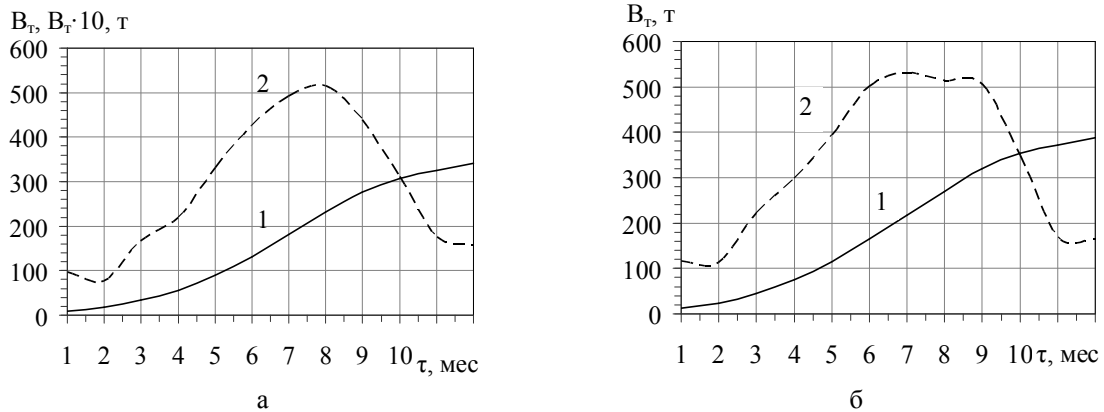


Рис. 1. Экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (10 МВт) в ТХМ от текущей температуры $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$: а – Триполи; б – Хон; 1 – по нарастающей за 2009 г., V_T, τ ; 2 – за месяц, $V_T \cdot 10, \tau$

Для удобства пересчета количества сэкономленного топлива с учетом суммарной электрической мощности ГТУ в регионе расчеты выполнены для мощности 10 МВт, а также принято, что повышение температуры воздуха $t_{нв}$ на 10°C вызывает возрастание удельного расхода топлива b_e на $3,5 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$.

Несколько большая экономия топлива V_T для ГТУ в регионе г. Хон по сравнению с г. Триполи (рис. 1) объясняется более высокой температурой наружного воздуха $t_{нв}$ в г. Хон (на $3...5^\circ\text{C}$ выше, чем в г. Триполи) и, соответственно, большей глубиной снижения температуры воздуха на входе ГТУ $\Delta t_{в2} = t_{нв} - 10^\circ\text{C}$.

На рис. 2 приведены данные по экономии топлива V_T для ГТУ (10 МВт) для городов, в районе которых расположены региональные электростанции: Триполи; Бенгази; Шахат (восточный регион); Хон (центральный); Джало (южный); 6- Нало (западный регион).

Как видно, эффект от применения охлаждения воздуха на входе ГТУ в разных регионах существенно различается: годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ мощностью 10 МВт составляет примерно 400 т для центрального и южного регионов (г. Хон и Джало) и около 200 т для восточного региона (г. Шахат), т.е. имеет место практически двойного различия. Это обусловлено разными климатическими условиями эксплуатации и, соответственно, величиной снижения температуры воздуха $\Delta t_{в}$ при его охлаждении на входе

ГТУ от разных температур наружного воздуха $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$.

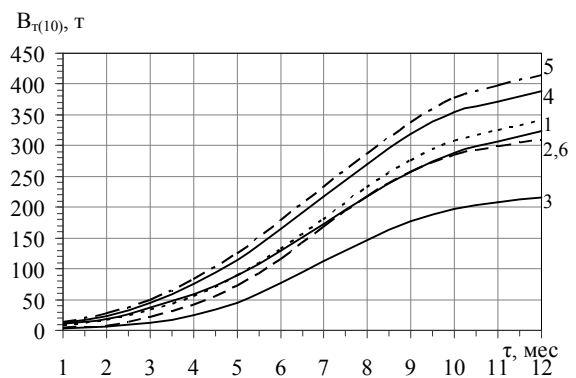


Рис. 2. Годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (10 МВт) в ТХМ от текущей $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ для разных регионов (2009 г.): 1-Триполи; 2-Бенгази; 3- Шахат (восточный регион); 4-Хон (центральный); 5- Джало (южный); 6- Нало (западный регион)

На электростанции г. Триполи приходится 32 % суммарной мощности электростанций Ливии (около 5000 МВт), что составляет 1600 МВт. Исходя из мощности всех ГТУ электростанций г. Триполи рассчитана годовая (2009 г.) экономия топлива за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ (суммарной электрической мощностью 1600 МВт) с понижением его температуры до 10°C в водоаммиачных абсорбционных (АХМ) или эжекторных (ЭХМ) холодильных машинах (рис. 3).

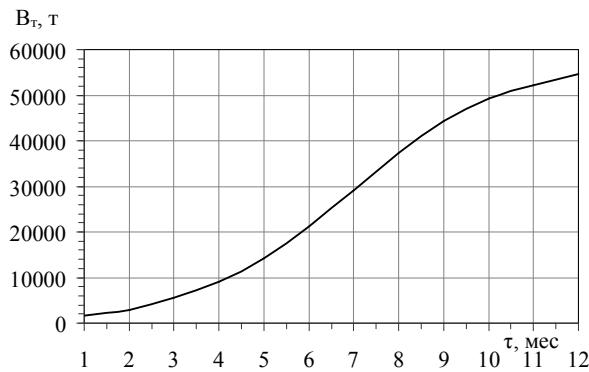


Рис. 3. Годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ суммарной электрической мощностью 1600 МВт (Триполи, 2009 г.) в ТХМ от текущей температуры наружного воздуха $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ (АХМ)

Как видно, за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ суммарной мощностью 1600 МВт (г. Триполи) в ТХМ можно сэкономить 55000 т топлива (природного газа) за год. Используя экономленное топливо, можно выработать дополнительно $230 \cdot 10^6$ кВт·ч электроэнергии (при удельном расходе топлива b_e на производство 1 кВт·ч электроэнергии 240 г/(кВт·ч)) на располагаемых мощностях ГТУ. Иначе, для получения этих дополнительных $230 \cdot 10^6$ кВт·ч электроэнергии (при традиционной эксплуатации ГТУ без охлаждения воздуха на входе) необходимо было бы ввести в эксплуатацию газотурбинную электростанцию мощностью 26 МВт, т.е. 1,6 % суммарной электрической мощности установленных в Триполи ГТУ (1600 МВт) с годовым потреблением топлива примерно 3360000 т.

Исходя из суммарной мощности электростанций Ливии (около 5000 МВт) и объемов производства электроэнергии в 6 региональных системах: Триполи (32 % суммарной мощности всех ЭС или 1600 МВт), Бенгази (15 %, 750 МВт), западный регион (20 %, 1000 МВт; Нало, Завия, Зентан), центральный (18 %, 900 МВт; Хон, Мисрат, Сирт), восточный (6 %, 300 МВт; Шахат, Табрэк, Салун), Южный (9 %, 450 МВт; Джало, Саба, Кофра, Мозек), была рассчитана годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от текущей $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ (в АХМ или ЭХМ) для электростанций в каждом из 6 регионов (рис. 4).

Как видно, годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ, во всех регионах весьма значительная, а ее различие объясняется климатическими условиями регионов (соответственно и глубиной охлаждения воздуха), а также суммарными мощностями электростанций.

Об общей экономии топлива за 2009 г., в результате перехода ГТУ всех электростанций на экс-

плуатацию с охлаждения воздуха на входе, можно судить по рис. 5.

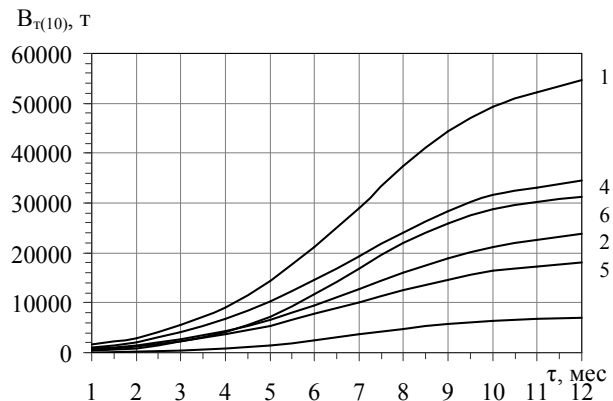


Рис. 4. Годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от текущей температуры $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ для электростанций в 6 регионах: 1-Триполи (32 % суммарной мощности всех ЭС, или 1600 МВт); 2-Бенгази (15 %, 750 МВт); 3-восточный (6 %, 300 МВт; Шахат); 4-центральный (18 %, 900 МВт; Хон); 5-Южный (9 %, 450 МВт; Джало); 6-западный регион (20 %, 1000 МВт; Нало)

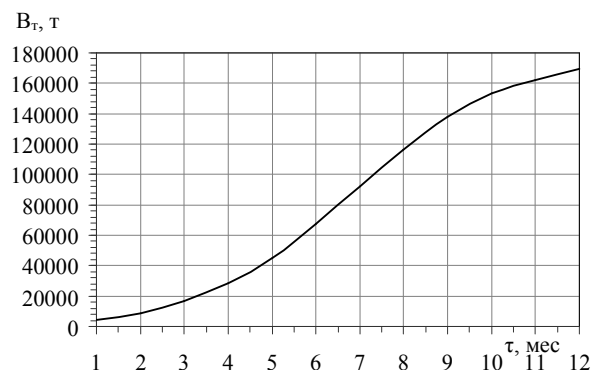


Рис. 5. Общая годовая экономия топлива V_T за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ от текущей температуры $t_{нв}$ до $t_{в2} = 10^\circ\text{C}$ для всех электростанций 6 регионов

Как видно, переход ГТУ всех электростанций на эксплуатацию с охлаждением воздуха на входе обеспечивает весьма значительную годовую экономию топлива $V_T = 170$ тыс.т. На экономленном топливе можно выработать дополнительно 700·ГВт·ч электроэнергии (при удельном расходе топлива b_e на производство 1 кВт·ч электроэнергии 240 г/(кВт·ч)) на располагаемых мощностях ГТУ. При традиционной работе ГТУ, без охлаждения воздуха на входе, для получения дополнительных 700·ГВт·ч электроэнергии потребовалось бы введение в эксплуатацию газотурбинной электростанции мощностью 80 МВт.

Выводы

Проанализирована эффективность применения охлаждения воздуха на входе ГТУ теплоиспользующими холодильными машинами, утилизирующими теплоту отработавших газов, для регионов Ливии, в которых сосредоточено производство электроэнергии. Показано значительное влияние климатических условий эксплуатации и, соответственно, глубины охлаждения воздуха, экономия топлива. Определена экономия топлива за счет охлаждения воздуха на входе ГТУ электростанций регионов с учетом климатических условий и суммарных мощностей электростанций.

Поступила в редакцию 17.10.2012, рассмотрена на редколлегии 14.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, профессор М.Г. Хмельнюк, Одесская государственная академия холода

ЕФЕКТ ВІД ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ ГАЗОТУРБІННИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В РІЗНИХ РЕГІОНАХ ЛІВІЇ

М.І. Радченко, Рамі Елгербі

Проаналізовано ефективність застосування охолодження повітря на вході газотурбінних установок тепловикористовуючими холодильними машинами, що утилізують теплоту відпрацьованих газів, для регіонів Лівії, в яких зосереджено виробництво електроенергії. Показано значний вплив кліматичних умов експлуатації та, відповідно, глибини охолодження повітря, на економію палива. Розрахована економія палива за рахунок охолодження повітря на вході газотурбінних установок електростанцій різних регіонів з урахуванням кліматичних умов і сумарних потужностей електростанцій. Визначено регіони, в яких охолодження повітря на вході газотурбінних установок забезпечує найбільше скорочення споживання палива.

Ключові слова: газотурбінна електростанція, витрата палива, охолодження повітря, тепловикористовуюча холодильна машина, температура.

EFFECT OF COOLING THE INTAKE AIR OF GAS TURBINE ELECTRICAL STATION IN VARIOUS REGIONS OF LIBYA

N.I. Radchenko, R. Elgerbi

It is analyzed the effectiveness of application of cooling the air at the inlet of gas turbine unites by waste heat recovery cooling machines utilizing the heat of exhaust gases for regions of Libya where electricity production is concentrated. A significant influence of climate conditions of performance and respectively a depth of cooling the air upon fuel saving is shown. A fuel saving due to cooling the air at the inlet of gas turbine unites of electrical stations in various regions taking into account the climate conditions and total power output of electrical stations are calculated. The regions where cooling the air at the inlet of gas turbine unites provides the maximum decrease in fuel consumption are founded.

Keywords: gas turbine electrical station, fuel consumption, cooling of air, waste heat recovery cooling machine, temperature.

Радченко Николай Иванович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, e-mail: andrad69@mail.ru.

Ельгерби Рами – аспирант каф. кондиционирования и рефрижерации, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, e-mail: andrad69@mail.ru.

Литература

1. *Planning Electrical Power System Studies for Libya (Demand Forecasting & Generation Expansion Planning until 2025) [Text]. – Final Report, 2008: General People's Committee of Electricity, Water & Gas (GPCoEWG), ICEPCO, 2008. – 193 p.*

2. *Bortmany, J.N. Assessment of aqua-ammonia refrigeration for pre-cooling gas turbine inlet air [Text] / J.N. Bortmany // Proceedings of ASME TURBO EXPO 2002. – Paper GT-2002-30657. – 12 p.*