



Gaz turbina kompressoriga kiruvchi havoni sovutish usullarini tadqiq qilish

Lutfulla M. Eshkuvatov

PhD, dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; leshkuvatov@tdtu.uz <https://orcid.org/0000-0001-7442-5018>

Dolzarbli: aholi sonini muttasil o'sib borishi elektr va issiqlik energiyasiga bo'lgan talabning izchil ravishda ortishiga olib kelmoqda. Respublikamizda elektr energiyasi ishlab chiqarishda asosiy generatsiya quvvatlari asosan issiqlik elektr stansiyalari, bug'-gaz qurilmalari hamda kogeneratsiya texnologiyalari negizida shakllantirilgan. Zamonaviy gaz turbinali issiqlik elektr stansiyalarda ishlab chiqarish quvvatini cheklovchi asosiy omillardan biri - atrof-muhit harorati bilan turbina quvvati o'rtasidagi teskari funksional bog'liqlik hisoblanadi. Atmosfera havosi haroratining oshishi, birinchi navbatda, havo zichligining kamayishiga sabab bo'ladi, bu esa gaz turbina kompressoriga kiruvchi havoning massaviy sarfi qisqarishiga olib keladi. Natijada gaz turbina ishlab chiqaradigan elektr quvvat ma'lum miqdorda pasayadi. Atrof-muhit parametrlari - namlik, bosim va harorat - geografik joylashuv hamda mavsumiy omillarga bog'liq holda keng diapazonda o'zgarishi mumkin. Ushbu omillar havo zichligiga to'g'ridan-to'g'ri, gaz turbina agregatining quvvat ishlab chiqarishiga esa bilvosita ta'sir ko'rsatadi. Yoz mavsumida haroratning +45 °C gacha ortishi kompressorning solishtirma ishini oshiradi, bu esa turbina foydali ish ko'effitsientini pasayishi va ishlab chiqarish quvvatini 30 % gacha kamayishiga sabab bo'ladi. Ushbu tadqiqot "Toshkent IEM" filialidagi Hitachi H25 gaz turbina kompressorini kirayotgan havo haroratini nasadkali (evaporative) sovutish integratsiyasi qo'llanilishi natijasida o'rtacha ishlab chiqarish quvvati 11–12%ga oshirilgan.

Maqsad: turli iqlim sharoitlarida, xususan kompressorga kiruvchi tashqi havoni oldindan sovutish texnologiyasini qo'llash orqali generatsiya quvvatini barqarorlashtirish, foydali ish ko'effitsientini oshirish, solishtirma yoqilg'i sarfini kamaytirish hamda atmosferaga chiqariladigan zararli moddalar miqdorini qisqartirish imkoniyatlarini baholash ko'zda tutiladi.

Usullar: gaz turbinali issiqlik elektr stansiyalarida atrof-muhit haroratining o'zgarishi natijasida yuzaga keladigan quvvat yo'qotishlarini baholash va ularni kamaytirish imkoniyatlarini aniqlash maqsadida xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlar nazariy tahlil, solishtirma tahlil, samaradorlikni oshirishga qaratilgan yondashuvlar hamda texnik-iqtisodiy baholash usullari qo'llanildi.

Natijalar: "Toshkent issiqlik elektr markazi" filialida o'rnatilgan, nominal quvvati 28,6 MVt bo'lgan Hitachi H25 gaz turbinasi kompressoriga kirayotgan havoning harorati va nisbiy namligi parametrlarini ta'minlash asosida o'tkazilgan tajriba-sinov tadqiqotlarining tahlil natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: gazturbina qurilmasi, qozon utilizatori, sovutish, nisbiy namlik, harorat, absorbsion sovutish, issiqlik almashinuv qurilmasi.

Исследование методов охлаждения воздуха, поступающего в компрессор газовой турбины

Лутфулла М. Эшкuvatov

PhD, доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; leshkuvatov@tdtu.uz <https://orcid.org/0000-0001-7442-5018>

Актуальность: непрерывный рост численности населения приводит к последовательному увеличению спроса на электрическую и тепловую энергию. В Республике основные генерирующие мощности по производству электрической энергии сформированы преимущественно на базе тепловых электростанций, парогазовых установок и когенерационных технологий. Одним из ключевых факторов, ограничивающих производственную мощность современных газотурбинных тепловых электростанций, является обратная функциональная зависимость между температурой окружающей среды и мощностью газовой турбины. Повышение температуры атмосферного воздуха, прежде всего, вызывает снижение его плотности, что, в свою очередь, приводит к уменьшению массового расхода воздуха, поступающего в компрессор газовой турбины. В результате электрическая мощность, вырабатываемая газовой турбиной, снижается на определённую величину. Параметры окружающей среды-влажность, давление и температура-могут изменяться в широком диапазоне в зависимости от географического расположения и сезонных факторов. Указанные факторы оказывают прямое влияние на плотность воздуха и косвенное-на выработку мощности газотурбинного агрегата. В летний период повышение температуры до +45 °C приводит к увеличению удельной работы компрессора, что обуславливает снижение коэффициента полезного действия турбины и уменьшение вырабатываемой мощности до 30 %. В данном исследовании показано, что в филиале «Toshkent IEM» за счёт интеграции насадочного (испарительного) охлаждения воздуха на входе компрессора газовой турбины Hitachi H25 средняя вырабатываемая мощность увеличена на 11–12%.

Цель: планируется оценить возможности стабилизации генерирующих мощностей, повышения эффективности, снижения относительного расхода топлива и уменьшения количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу в различных климатических условиях, в частности, за счёт использования технологии предварительного охлаждения наружного воздуха, поступающего в компрессор.

Методы: для оценки потерь мощности, возникающих в результате изменений температуры окружающей среды на тепловых электростанциях с газовыми турбинами, и выявления возможностей их снижения были

For citation: Eshkuvatov L.M. Study of air-cooling methods for air entering the gas turbine compressor. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 2, pp. 46-55.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21185259>

Received: 12.12.2025

Revised: 15.04.2026

Accepted: 05.06.2026

Published: 26.06.2026

Copyright: © Lutfulla M. Eshkuvatov, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



использованы научные исследования, проведенные зарубежными и отечественными учеными, теоретический анализ, сравнительный анализ, подходы, направленные на повышение эффективности, а также методы технико-экономической оценки.

Результаты: представлены результаты анализа экспериментально-испытательных исследований, проведенных на основе обеспечения параметров температуры и относительной влажности воздуха, поступающего в компрессор газовой турбины Hitachi H25 номинальной мощностью 28,6 МВт, установленной на филиале «Ташкентская теплоэлектроцентраль».

Ключевые слова: газотурбинная установка, котёл утилизатор, охлаждение, относительная влажность, температура, абсорбционное охлаждение, теплообменник.

Study of air-cooling methods for air entering the gas turbine compressor

Lutfulla M. Eshkuvatov

PhD, dots., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; leshkuvatov@tdtu.uz <https://orcid.org/0000-0001-7442-5018>

Relevance: the continuous growth of the population leads to a steady increase in the demand for electrical and thermal energy. In the Republic, the main generating capacities for electricity production are predominantly based on thermal power plants, combined cycle power plants, and cogeneration technologies. One of the key factors limiting the production capacity of modern gas-turbine thermal power plants is the inverse functional relationship between ambient temperature and gas turbine power output. An increase in atmospheric air temperature primarily leads to a decrease in its density, which in turn reduces the mass flow rate of air entering the gas turbine compressor. As a result, the electrical power generated by the gas turbine decreases by a certain amount. Environmental parameters such as humidity, pressure, and temperature may vary within a wide range depending on geographical location and seasonal factors. These factors have a direct effect on air density and an indirect impact on the power output of the gas turbine unit. During the summer period, an increase in temperature up to +45 °C leads to an increase in the specific work of the compressor, which results in a decrease in the turbine efficiency and a reduction in the generated power by up to 30%. In this study, it is shown that at the “Toshkent IEM” branch, due to the integration of evaporative (pad-type) cooling of the air at the inlet of the Hitachi H25 gas turbine compressor, the average power output has increased by 11–12%.

Aim: it is planned to assess the potential for stabilizing generating capacities, improving operational efficiency, reducing the specific fuel consumption, and decreasing the amount of harmful substances emitted into the atmosphere under various climatic conditions, particularly through the application of technology for preliminary cooling of the ambient air entering the compressor.

Methods: to assess the power losses occurring as a result of changes in ambient temperature at gas-turbine thermal power plants and to identify possibilities for their reduction, scientific studies conducted by foreign and domestic researchers were used, along with theoretical analysis, comparative analysis, approaches aimed at improving efficiency, and methods of techno-economic evaluation.

Results: the results of experimental and test studies carried out on the basis of monitoring the temperature and relative humidity parameters of the air entering the compressor of the Hitachi H25 gas turbine with a nominal capacity of 28.6 MW, installed at the “Tashkent Thermal Power Plant” branch, are presented.

Keywords: gas turbine unit, heat recovery steam generator, cooling, relative humidity, temperature, absorption cooling, heat exchanger.

1. Kirish (Introduction)

Dunyoda yuqori energetik samaradorlikka erishish va atrof-muhitga chiqindilar ta'sirini kamaytirishga qaratilgan global tendensiyalar jumladan, gaz turbina sikllari asosida ishlovchi issiqlik elektr stansiyalarning jadal rivojlanishiga turtki berdi. Ayniqsa, yoz oylarida elektr energiyasiga bo'lgan talabning keskin ortishi yuqori atrof-muhit harorati sharoitida ham maksimal quvvatni ta'minlay oladigan generatsiya ob'ektlarini barpo etishni strategik zaruratga aylantirmoqda.

Gaz turbinali issiqlik elektr stansiyalarning quvvatini cheklovchi asosiy omillardan biri - atrof-muhit harorati bilan turbina quvvati o'rtasidagi teskari bog'liqlikdir. Atmosfera havosi haroratining ortishi, avvalo, havo zichligining kamayishiga va shu orqali kompressorga kiruvchi havo massaviy sarfining qisqarishiga olib keladi. Bu esa bevosita ishlab chiqariladigan quvvatning pasayishi bilan yakunlanadi. Atrof muhit parametrlari (namlik, bosim, harorat) geografik joylashuv va mavsumga qarab sezilarli darajada o'zgarishi mumkin bo'lib, bu havo zichligi va bilvosita gazturbina quvvat ishlab chiqarishiga ta'sir ko'rsatadi. Bundan tashqari, kirish havo haroratining yuqori bo'lishi kompressorning solishtirma ishini oshiradi, natijada turbina ishlab chiqarish quvvati yanada kamayadi.

Bunday ekspluatatsion sharoitlarda generatsiya quvvatini barqaror saqlash va oshirishga qaratilgan texnik chora-tadbirlarni amalga oshirish dolzarb hisoblanadi. Shu bilan birga, issiqlik samaradorligining hatto nisbatan kichik o'sishi ham yoqilg'idan oqilona foydalanishni ta'minlab, atmosferaga chiqariladigan zararli moddalar miqdorini qisqartirish imkonini beradi. Ushbu muammolarni bartaraf

etishning eng sodda va samarali usullaridan biri - kompressorga kiruvchi tashqi havoni oldindan sovitish texnologiyasini joriy etishdir.

Barcha ishlab chiqarilayotgan gazturbina qurilmalari (GTQ) me'yoriy hujjatlarga muvofiq ravishda standart stansion sharoitlar uchun loyihalanadi. Ushbu sharoitlar atmosfera havosining quyidagi parametrlarini o'z ichiga oladi: tashqi havoning kirishdagi harorati - $+15^{\circ}\text{C}$; bosim - $0,101325\text{ MPa}$; nisbiy namlik - 60% [1]. Shu bilan birga, GTQlarni ekspluatatsiya qilish turli iqlim sharoitlarida amalga oshiriladi, bu esa qurilmaning ishlab chiqarish quvvati, foydali ish koeffitsienti (FIK), solishtirma issiqlik sarfi va yoqilg'i sarfi kabi ko'rsatkichlarga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Respublikamizning turli hududlarida yil davomida haroratning o'zgarishi keng oraliqda $+45^{\circ}\text{C}$ dan -15°C gacha bo'lib, bu holat gaz turbina qurilmalarining hisoblanmagan ish rejimlarini ko'rib chiqishda albatta inobatga olinishi lozim [2,3].

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

GTQ sikl havosini sovitish sohasi asosan g'arbiy kompaniyalar, asosan amerikaliklar tomonidan 1990-yildan beri rivojlantirila boshlagan bo'lib, bu vaqtda o'rta quvvatli 30-60 MVt GTQlarda qo'llanila boshladi. Bu texnologiya gaz turbinasi kirish havosini sovitish texnologiyasi (TIAC – Turbine Inlet Air Chilling) deb nomlanadi [4]. Sikl havosini sovitish bo'yicha xalqaro kompaniyalar assotsiatsiyasi – Turbine Inlet Cooling Association (TICA) tuzilgan, TICA - bu gaz turbinalarining kirish havosini sovitish texnologiyasi bo'yicha bilimlar rivojlanishini va ularni global darajada tarqatishni qo'llab-quvvatlovchi notijorat tijorat uyushmasidir. Uning asosiy maqsadi gaz turbinasi tizimlarini ekspluatatsiya qilishda quvvatni oshirish, energiya samaradorligini yaxshilash hamda chiqindilarni kamaytirish yo'nalishidagi tajriba va ma'lumotlarni almashishni rag'batlantiradi [5].

Ilmiy adabiyotlarda gaz turbina quvvatining samaradorligi kompressorga kiruvchi tashqi havo harorati o'zgarishiga bog'liqligi haqida turli maqolalar mavjud. Masalan, Abam va hamkasblarining ishlarida ko'rsatilgan: kompressor kirishida tashqi havoning haroratini 10°C ga ko'tarilishi gaz turbina chiqish quvvatini 18% ga kamaytiradi, atrof muhit haroratining ko'tarilishi GTQning chiqish quvvatini $25-35\%$ ga kamaytiradi va o'rtacha 6% ga ko'proq yoqilg'i iste'moliga olib keladi [6].

Ibrahim va Varnham turli kirish havosini sovitish texnologiyalari, ularning afzallik va kamchiliklari bo'yicha keng qamrovli tahlil o'tkazgan. Bug'li sovitish tizimida ishchi sikl Karno sikliga yaqin bo'lgani uchun uning sovitish koeffitsienti yuqori bo'ladi. Bu tizim nisbatan soddaroq va arzonroq, ammo sovitgich moddaning gaz turbinasiga sizib kirish xavfi mavjud [7].

Alhazmy va Najjar sovitish qismi orqali kirish havosini sovitishni tahlil qilib, u sovuq va nam sharoitda turbina quvvatini 10% , issiq va nam sharoitda esa 18% ga oshirishni aniqlagan [8]. Biroq stansiyaning sof quvvati sovuq va nam sharoitda $6,1\%$ ga, issiq va nam sharoitda $37,6\%$ ga kamaygan.

Amell va Cadavid Kolumbiyada gaz yoqilg'isida ishlovchi issiqlik elektr stansiyalari joylashgan hududlarda bug'-kompressiyali sovitish va muz saqlash texnologiyalarini joriy etish sharoitida atmosfera havosini sovitishning issiqlik yuklamasiga nisbiy namlik ta'sirini o'rgangan [9]. Srivastava va Yadav bug'li kompressiyali sovitish tizimi bilan ishlovchi qo'shma sikl samaradorligini o'rganib, kirish havosi 300 K dan 280 K gacha (20 K) sovitilganda stansiyaning solishtirma ishi 4% ga, samaradorligi esa $0,39$ foiz punktga oshishini ko'rsatgan [10].

Lucia va hammualliflar Italiya iqlimi sharoitida havo sovitish tizimi bilan va an'anaviy ishlovchi kogeneratsion gaz turbina stansiyasini taqqoslab, kompressor kirish havosi 10°C gacha sovitilganda turbina quvvati 19% gacha oshishi mumkinligini qayd etgan [11]. Al-Ansari va Ali Saudiya Arabistonda gaz turbina stansiyasi uchun mexanik sovitish va bug'lanishli sovitishni birlashtirgan gibrid turbina kirish havosini sovitish tizimini tahlil qilib, 10% dan ortiq quvvat oshishiga erishilganini ko'rsatgan. Iqtisodiy tahlil gibrid usulning boshqa usullarga nisbatan ustunligini ko'rsatgan [12]. Sepehrlarning ishlarida gaz turbinasi kirish havosini sovitish uchun muzli issiqlik energiyasini saqlash tizimining termo-iqtisodiy tahlilini amalga oshirgan. Tizim gaz turbinasi, havo sovitgichi va bug'-kompressiyali muzlatish sikliga ega issiqlik energiyasini saqlash qurilmasidan iborat bo'lgan. Kirish havosini sovitish usuliga qarab, chiqish quvvati $3,9-25,7\%$ ga, issiqlik samaradorligi $2,1-5,2\%$ ga oshgani, ammo qoplanish muddati $3,7$ yilga uzaygani qayd etilgan [13].

Yana bir istiqbolli usul - bug'li absorbsion sovitish bo'lib, u past sifatli issiqlik manbasidan foydalanadi. Eng keng tarqalgan tizimlar $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ va $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ hisoblanadi. Najjarning ishida ammiak-suvli absorbsion chillerni tahlil qilib, kirish havosini sovitish orqali oddiy sikl samaradorligi va quvvatni oshishini qayd etgan [14]. Mohanty va Paloso bu ikki olimning ishlarida esa ikki bosqichli litiy-bromidli absorbsion chiller yordamida shu gaz turbinasida 11% qo'shimcha elektr energiyasi ishlab chiqarishga erishgan [15]. Kakaraslarning ishlarida absorbsion chiller quvvatni sezilarli oshirishi, ammo issiqlik samaradorligini kamaytirishini ko'rsatgan [16]. Boonnasa va hammualliflar absorbsion chiller gaz turbinasi quvvatini yillik $10,6\%$ ga, qo'shma sikl stansiyasini esa $6,24\%$ ga oshirishini qayd etgan [17]. Wang va Chiou absorbsion sovitish bilan jihozlangan Frame 7B oddiy sikl generatorida quvvat 12% ga, samaradorlik $5,16\%$ ga oshganini xabar qilgan [18]. Bassily esa bosim nisbati, atrof-muhit harorati va boshqa parametrlarning absorbsion sovitishli murakkab gaz turbina sikliga ta'sirini

o'rgangan [19]. Khaliq va Dincer absorbsion kirish sovitish va bug'lanishli sovitishli qo'shma issiqlik-elekt stansiyasi uchun energiya va eksergiya tahlilini amalga oshirib, asosiy eksergiya yo'qotishlari yonuv kamerasi va bug' generatorida sodir bo'lishini ko'rsatgan [20]. Sahil Popli va hammualliflar chiqindi tutun gazlari issiqligi bilan ishlovchi absorbsion sovitish qurilmalarini an'anaviy bug'lanishli sovitgichlar va mexanik bug'-kompresiyali chillerlar bilan taqqoslagan [21]. Bir xil atrof-muhit sharoitida bug'lanishli kirish havosini sovitish gaz turbinasi quvvatini 4,2% ga, bug'-absorbsion sovitish esa 23,2% ga oshirgani qayd etilgan. Bug'-absorbsion sovitish integratsiyasida issiqlik samaradorligi 13% ga, bug'lanishli sovitishda esa 1,6% ga oshgan. Kompresiyali sovitish tizimiga nisbatan taklif etilgan tizim yiliga 2 MVt elektr quvvatini tejash imkonini bergan. Mohapatra va hammualliflar [22, 23] bug'-absorbsion va bug'-kompresiyali kirish havosini sovitishning qo'shma sikl samaradorligiga ta'sirini tahlil qilgan. Absorbsion kirish havosini sovitish gaz turbina siklining optimal samaradorligini 7,48% ga, maxsus ish ko'rsatkichini esa 18% dan ortiqqa oshirishi mumkinligi aniqlangan. Qo'shma sikl konfiguratsiyasi uchun esa stansiya samaradorligi yuqoriligi nuqtai nazaridan bug'latib sovitishni afzalligi tavsiya etilgan.

Gord va Dashtebayaz Erondagi Xangiron neftni qayta ishlash zavodida joylashgan gaz turbinasi uchun ikki an'anaviy va bir yangi - turboekspanderli - kirish havosini sovitish usullarini taqqoslagan [24]. Natijalarga ko'ra, eng yuqori issiqlik samaradorligi oshishi (taxminan 5%) mexanik chiller tizimida kuzatilgan, eng katta yillik elektr ishlab chiqarish o'sishi esa turboekspander holatida (taxminan 18 338 MVt-soat/yil) qayd etilgan. Shi va hammualliflar an'anaviy qo'shma siklli elektr stansiyasi samaradorligini oshirish maqsadida kirish havosini sovitish, oraliq sovitish hamda suyultirilgan tabiiy gazning sovuq energiyasidan foydalanishni birlashtirgan ilg'or integral issiqlik energetika tizimini taklif etgan [25]. Taklif etilgan ilg'or issiqlik elektr tizimida sof elektr samaradorligi va umumiy ishlab chiqarish quvvati an'anaviy qo'shma siklli stansiya nisbatan mos ravishda 2,8% va 76,8 MVt ga oshishi qayd etilgan.

Briesh va hammualliflar sikl samaradorligini 60% dan yuqoriga etkazish imkoniyatini asoslab, yuqori va quyi sikl parametrlarini takomillashtirishni taklif etgan [26]. Turbina parraklarini yopiq konturli bug'li sovitish eng maqbul echim sifatida ko'rsatilgan.

EL-Shazly ishlarida integratsiyalashgan gaz turbinasida turli kirish havosini sovitish usullarining ta'sirini tadqiq qilib, suv bilan sovitilgan absorbsion sovitish qurilmalari va sovitilmagan turbinalarning issiqlik samaradorligi, quvvat ishlab chiqarishi va yoqilg'i sarfini taqqoslaganlar [27]. Sovitilgan gaz turbinasida sezilarli samaradorlik va quvvat o'sishi qayd etilgan. Shuni ta'kidlash kerakki, mazkur tadqiqotda C++ dasturida modellashirilgan turbina natijalari MS 6001 B turbinasi ma'lumotlari bilan solishtirilgan.

Barakat va hammuallif olimlarning ishlarida esa gaz turbinasi samaradorligini oshirish uchun issiqlik almashinuvchi va tumanlashtirish (fogging) tizimini o'z ichiga olgan yangi gibril sovitish tizimini taklif qilganlar [28]. Natijalarga ko'ra, gibril tizimda suv sarfi oddiy tumanlashtirish tizimiga nisbatan 50% ga kam bo'lgan. E. Matjanovning ishida issiqlik elektr markazining 28,1 elektr quvvatiga ega issiqlik ta'minoti gaz turbinasi kompressoriga kirayotgan havoni + 45 °C haroratdan + 15 °C haroratgacha sovutish uchun absorbsion sovutish qurilmasini taklif qilgan [29]. Absorbsion sovutish qurilmasi qozon utilizatori chiqindi gazlaridan 4,62 MVt issiqlikni olish kerak. Natijada gaz turbinaning 28,1 MVt elektr quvvati va 34,2% elektr foydali ish koeffitsientini ta'minlagan.

Mexanik yoki absorbsion turdagi katta quvvatli sovitgichlarga nisbatan kichik quvvatli sovitgichlarda samaradorlikning yaxshilanishi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarining kamayishi hisobiga pul oqimlari yuqoriroq bo'ladi. Agar iqtisodiy sharoit tabiiy gaz yoqilg'isi asosida elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun yanada qulay tus olsa, quvvatni maksimal darajada oshirishga mo'ljallangan katta quvvatli chillerlar esa iqtisodiy jihatdan past quvvatli larga nisbatan ustunlikka ega bo'lishi mumkin. Biroq iqtisodiy tendensiya ijobiy bo'lgan sharoitda ham past quvvatli sovitish tizimlari kutilganidan ko'proq pul oqimini ta'minlab, yaxshiroq iqtisodiy ko'rsatkichlarni qayd etishi mumkin.

Sovitish tizimiga kirayotgan havoning harorati, bosimi hamda nisbiy namligi muhim ahamiyatga ega.

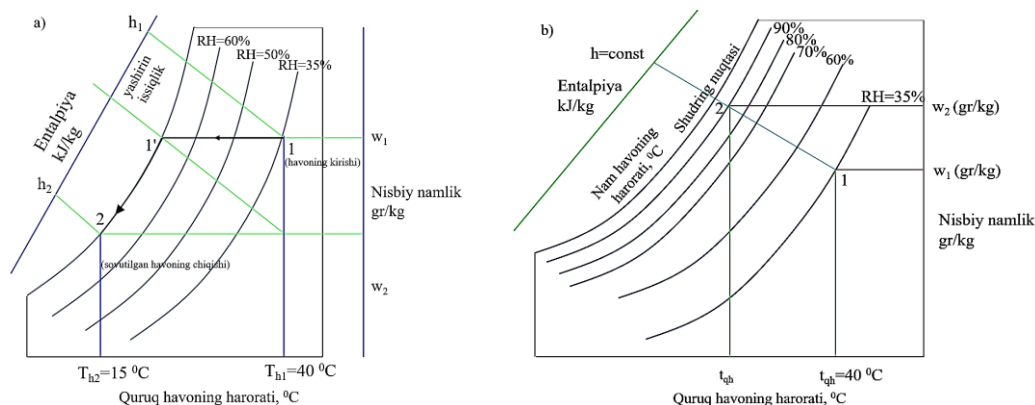
1a-rasmda tashqi atrof-muhit havosi ($T_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH = 35\%$) bug'lantiruvchi sovutish zonasiga kiradi va sovitish jarayoni 1-1'-2 ko'rinishida kechadi. Havo harorati shudring nuqtasi haroratigacha pasayganda kondensatsiya boshlanadi va havoning chiqishi $T_2 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH = 100\%$ ga etguncha davom etadi. Umumiy sovutish yuklamasi quyidagicha ifodalanadi [30]:

$$Q_{\text{sovutish}} = m_{\text{havo}}[(h_2 - h_1) - r(w_1 - w_2)], \text{ kVt}; \quad (1)$$

bu erda, h_1, h_2 - havoning kirishdagi va chiqishdagi entalpiyasi, kg/kg , r - yashirin bug'lanish issiqligi, kg/kg , w_2 - sovutuvchi zonaga chiqayotgan havoning nisbiy namligi, gr/kg , w_1 - sovutuvchi zonaga kirayotgan havoning nisbiy namligi, gr/kg .

Sovitish zonasiga kelayotgan suvni ta'minlash uchun aylanma nasoslari ste'mol qiladigan elektr quvvati qo'yidagicha hisoblanadi [31]:

$$Q_n = 0,7 \cdot Q_{\text{sovutish}}, \text{ kVt}; \quad (2)$$



1-rasm. a) havoni sovutish jarayoni; b) havoni nasadka (Evaporative) orqali sovutish
Fig.1. a) air cooling process; b) air cooling through an evaporative pad

1b-rasmda suvni nasadka (Evaporative) orqali havoni sovutish jarayoni tushuntirilgan. 40 °C harorat va 35% nisbiy namlikka ega bo'lgan kirish havosi oldindan suv bilan namlangan sovutish zonasidan o'tganda, havoning nisbiy namligi ortadi. Shu bilan birga, quruq termometr harorati pasayadi, nam termometr harorati esa o'zgarmasdan qoladi, to nisbiy namlik 90% ga etguncha.

Psixrometrik diagrammada 1-2 chizig'i ushbu sovutish jarayonini ifodalaydi. Sovutish harorati havoning nisbiy namligiga bog'liq bo'lib, chiqish harorati quyidagicha ifodalanadi:

$$T_{h2} = T_{h1} - N(T_{h1} - T_{ch}); \quad (3)$$

bu erda T_{h1} – kirishdagi havoning harorati, °C, N – havoni sovutayotgan nasadkaning samaradorligi, $N = 90 - 94\%$, chiqayotgan nam havoning harorati, °C.

Havoni sovutayotgan nasadkaning samaradorligi 90÷94% oraliqda. Yillik gaz turbinasi quvvati qanchaga ko'tarilishini baholash mumkin, shuningdek kompressorga kirayotgan havoni sovutish bilan va sovutishsiz quvvat orasidagi farq ham hisoblanadi:

$$\Delta W = w_2 - w_1, kVt. \quad (4)$$

Suvning bug'lanish oqim tezligi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$V = \frac{\vartheta(w_2 - w_1)\rho_{havo}}{\rho_{suv}}, m^3/s; \quad (5)$$

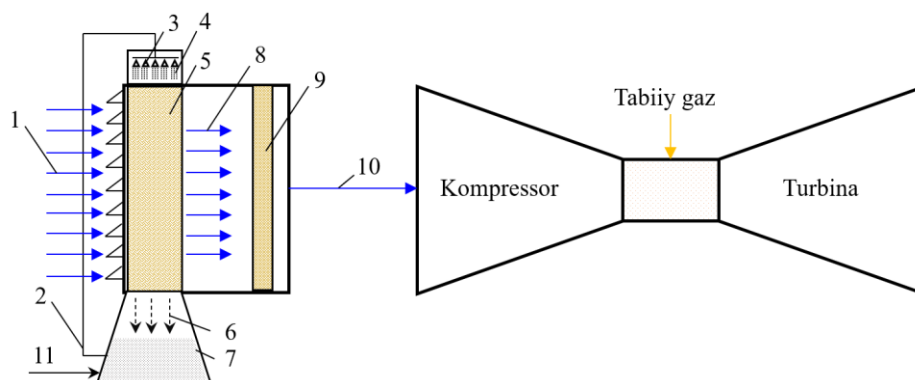
bu erda ϑ – havoning miqdori, m^3/s , w_2 – sovutuvchi zonaga chiqayotgan havoning nisbiy namligi, gr/kg , w_1 – sovutuvchi zonaga kirayotgan havoning nisbiy namligi, gr/kg , ρ_{havo} – havoning zichligi, kg/m^3 , ρ_{suv} – suvning zichligi, kg/m^3 .

Havoni sovutish samaradorligi, ya'ni E - koefitsient qiymati qancha katta bo'lsa, chiqarilayotgan suv nisbati shu qadar katta va bu tizim samaradorligiga ta'sir qiladi:

$$E = \frac{G_s}{V}; \quad (6)$$

bu erda G_s – sistema orqali kirib kelayotgan suvning miqdori, m^3/s .

3. Natijalar (Results)



2-pacm. Kompressorga kirayotgan havoni sovutishning texnologik sxemasi. 1-havo; 2-sovituvchi suv quvuri; 3-suvni taqsimlovchi quvur; 4,6-sovituvchi suvning kirish va chiqishi; 5-havoni sovutuvchi nasadka (Evaporative); 7-suv baki; 8-nam havo; 9-tomchi ushlagich; 10-sovutilgan havo

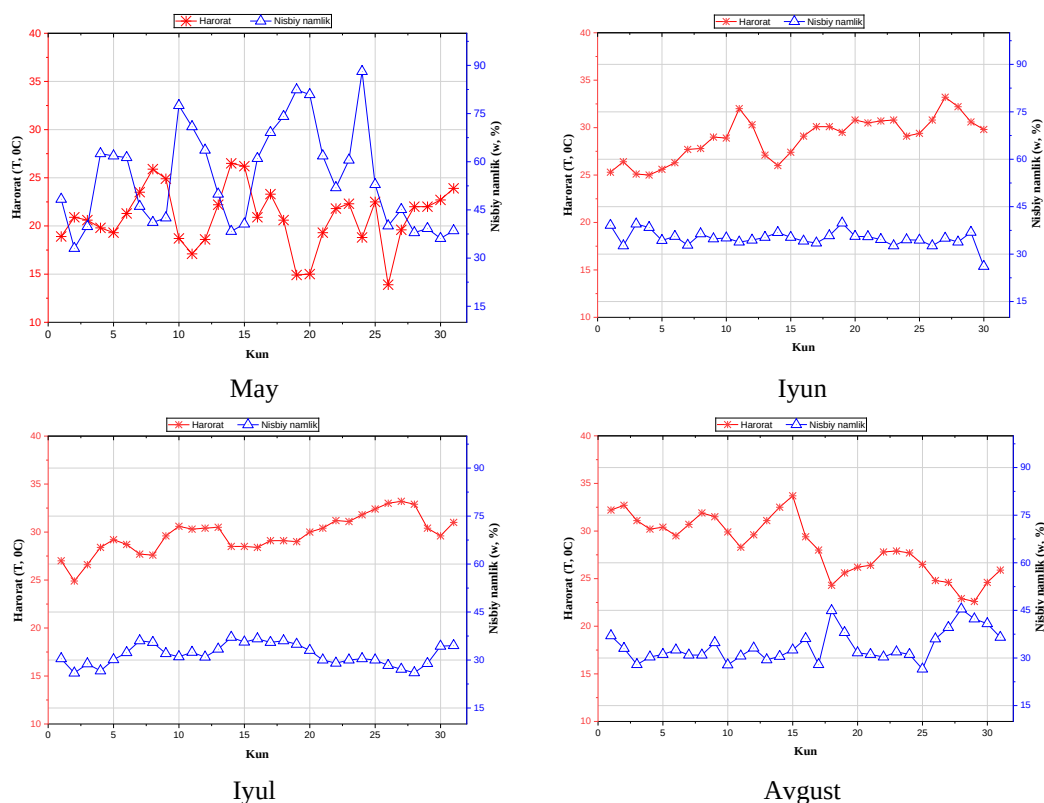
Fig.2. Process diagram of cooling the air entering the compressor

Ushbu 2-rasmda taklif etilayotgan sovutish tizimi "IES" AJ "Toshkent issiqlik elektr markazi" filialida Hitachi H25 gaz turbinali nominal quvvati 28,6 MVt bo'lgan gaz turbinasi tanlangan.

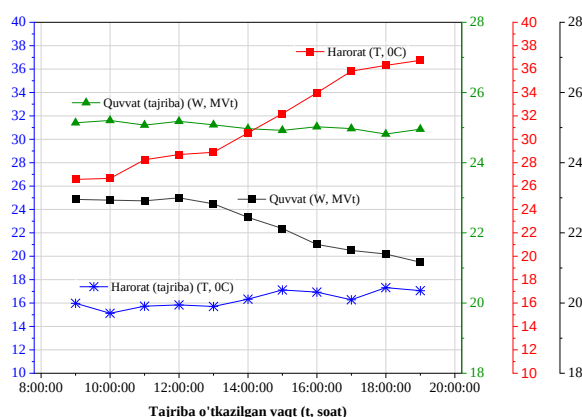
“Toshkent issiqlik elektr markazi” filialida oʻrnatilgan Hitachi H25 gaz turbina kompressoriga kirayotgan havoning kirish va chiqish haroratlari va nisbiy namligi muntazam Testo 435 qurilmasi yordamida oʻlchandi. 3-rasmdagi grafiklarda yoz mavsumi may, iyun, iyul va avgust oylari uchun harorat va nisbiy namlikning oʻrtacha koʻrsatkich natijalari keltirilgan. Asosan yoz iyun, iyul va avgust oylarida havoning oʻrtacha harorati 34 °C gacha koʻtarilishi va nisbiy namligi 14-20% oraliqqacha pasayishini koʻrishimiz mumkin. Bu esa gaz turbina quvvatining 25-30% gacha pasayishiga olib keladi.

Yoz mavsumining 6-7 avgust kunlari “Toshkent issiqlik elektr markazi” filialida oʻrnatilgan nominal quvvati 28,6 MVt gaz turbina kompressoriga kirayotgan havo haroratini pasaytirishga qaratilgan tajriba-sinov tadqiqot ishlari amalga oshirildi.

Olingan natijalarni oʻzaro solishtirish kompressorga kirayotgan havo haroratini pasayishi gaz turbina quvvatining ortishiga ijobiy taʼsir koʻrsatishini tasdiqladi. Ushbu ikki holat boʻyicha olingan eksperimental maʼlumotlarning taqqoslama tahlili 4-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Harorat va nisbiy namlikning kunlik oʻzgarishini oylar kesimidagi natijalari
Fig.1. Results of the daily variations of temperature and relative humidity by months



4-rasm. Kompresorga kiruvchi havo harorati va gaz turbina quvvatining vaqt boʻyicha oʻzgarishi
Fig.1. Time variation of compressor inlet air temperature and gas turbine power

4. Munozara (Discussion)

Izlanishlar jarayonida gaz turbina qurilmasi kompressoriga kirayotgan tashqi havo haroratini pasaytirish masalasi boʻyicha xorijiy va respublika olimlarining ilmiy ishlari chuqur tahlil qilindi va shu asosda tadqiqotning maqsad va vazifalari aniq belgilab olindi.

Tadqiqot doirasida kompressorning kirish qismiga namlantirish tamoyili asosida ishlovchi havo sovutish nasadkasi (evaporative) o'rnatilib, uning gaz turbina agregati ish ko'rsatkichlariga ta'siri eksperimental va hisoblash usullari orqali tahlil etildi.

Yoz mavsumida kunning 9:00 dan 19:00 gacha bo'lgan vaqt oralig'ida taklif etilayotgan sovutish tizimi ishlatilgan holda kompressorga kirayotgan havo harorati va gaz turbina ishlab chiqargan quvvat qiymatlari muntazam ravishda qayd etildi. Keyingi kunda esa aynan shu vaqt intervalida hech qanday sun'iy sovutish qo'llanilmagan holda, ya'ni tabiiy kirish sharoitidagi havo harorati hamda gaz turbina ishlab chiqargan quvvat ko'rsatkichlari o'lchandi.

O'tkazilgan tajribalar va amalga oshirilgan hisob-kitoblar natijasida taklif etilgan havo sovutish nasadkasini joriy etish gaz turbina quvvatiga sezilarli ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. 4-rasmda keltirilgan grafik tahlilidan ko'rinib turibdiki, tabiiy sharoitda havo harorati (qizil chiziq) ortishi bilan gaz turbina quvvati (qora chiziq) kamayish tendensiyasiga ega. Bu esa kompressor kirish havosi harorati bilan ishlab chiqarilayotgan quvvat o'rtasida teskari bog'liqlik mavjudligini ko'rsatadi.

Sovutish tizimi o'rnatilgan holatda esa havo harorati (ko'k chiziq) pasaygani va mos ravishda gaz turbina quvvati (yashil chiziq) oshgani kuzatildi. Solishtirma tahlil natijalari gaz turbina qurilmasining ishlab chiqarish quvvatini o'rtacha 11–12 % ga oshganini ko'rsatdi.

5. Xulosa (Conclusion)

Mazkur tadqiqotda gaz turbina kompressoriga kiruvchi havoni sovutish usullari bo'yicha xorij va respublika olimlarining ilmiy ishlari tahlil qilindi. Tadqiqotning maqsad va vazifalari aniqlanib, quyidagi ilmiy natijalar olindi:

- kompressorga kiruvchi havoni sovutishning texnologik sxemasi ishlab chiqildi;
- kompressorga kiruvchi havoning kirish va chiqish haroratlari, bosimi va nisbiy namligi Testo 435 qurilmasi yordamida muntazam o'lchandi va tahlili 3-rasmda taqdim etildi;
- Hitachi H25 gaz turbina kompressoriga nasadkali (evaporative) sovutish integratsiyasi qo'llanilishi orqali qurilmaning ishlab chiqarish o'rtacha quvvati 11–12%ga oshirildi.

Shu tariqa, nasadkali (evaporative) havo sovutish tizimi yuqori tashqi harorat sharoitida ham gaz turbina agregatining nominal quvvatini barqaror saqlab qolish imkoniyatini ta'minlashi ilmiy jihatdan asoslandi. Bu natijalar gaz turbina agregatlarini yuqori samaradorlikda ekspluatatsiya qilishda samarali va texnik jihatdan asoslangan echim sifatida qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatadi.

ADABIYOT

- ГОСТ Р 52200-2004 Установки газотурбинные. Нормальные условия и номинальные показатели. – М.: Госстандарт России, 2004. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200035178> – (Дата обращения 17.08.2023).
- A.B. Bafoyeve, L.M. Eshkuvatov, U.U. Riskulov, S.D. Saimov. Исследование охлаждения воздуха, подаваемого в компрессор газовой турбины, Problems of energy and sources saving, Special issue No. 88, TSTU, pp. 317 – 324, 2025.
- Носырева Д.А. Оценка влияния температуры наружного воздуха на эффективность работы ГТУ / Д.А. Носырева // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2020. – № 1-2(59). – С. 65-70.
- Цхяев А.Д. Использование АБХМ в системах охлаждения воздуха на входе в компрессор ГТУ / А.Д. Цхяев, Т.Г. Кузмина // Турбины и дизели. – 2015. – № 5. – С. 10-13.
- <https://www.turbineinletcooling.org> .
- Abam F., Ugot I., Igbong D., Анализ производительности и необратимостей компонентов газотурбинной электростанции мощностью 25 МВт, смоделированной с использованием распылительного охладителя, American J. of Engineering and Applied Sciences 2012; 5 (1): 35-41, <http://thescipub.com/html/10.3844/ajeassp.2012.35.41> (accessed 17 June 2014). <https://dx.doi.org/10.3844/ajeassp.2012.35.41>.
- Ibrahim A.M., Varnham A. Обзор технологий охлаждения воздуха на входе для повышения эффективности газотурбинных установок в Саудовской Аравии. Appl Therm Eng 2010; 30:1879e88. <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.04.025> .
- Alhazmy M.M., Najjar Y.S.H. Повышение производительности газовой турбины с использованием охладителей воздуха. Appl Therm Eng 2004; 24:415e29. <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.09.006> .
- Amell A.A., Cadavid F.J. Влияние относительной влажности на тепловую нагрузку системы охлаждения воздуха на газотурбинной электростанции. Appl Therm Eng 2002; 22:1529e33. [https://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00063-7](https://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00063-7) .
- Srivastava G, Yadav R. Влияние охлаждения входного воздуха на эффективность парогазовых электростанций. In: ASME conference proceedings; 2004. pp. 353e60. Paper No. POWER 2004-52147. <https://dx.doi.org/10.1115/POWER2004-52147> .

11. Lucia M., Bronconi R., Carnevale E. Комбинированные газовые турбины с когенерацией: повышение эффективности и экономической отдачи за счет охлаждения воздуха на входе в компрессор. *Trans ASME J Eng Gas Turbines Power* 1994; 116:360e5. <https://dx.doi.org/10.1115/1.2906828>.
12. Al-Ansari H.A., Ali M.A. Влияние использования гибридной системы охлаждения воздуха на входе турбины в засушливом климате. *Energy Convers Manag* 2013; 75:214e23. <https://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.005>
13. Sepehr S., Fardad A., Masoud M. Термoeкономическая оптимизация системы ледяного аккумулятора для охлаждения воздуха на входе газовой турбины. *Energy* 2011;36(2): 1057e67.
14. Najjar Yousef S.H. Повышение эффективности газотурбинных двигателей за счет охлаждения воздуха на входе и системы когенерации. *Appl Therm Eng* 1996;162:163e73. [https://dx.doi.org/10.1016/1359-4311\(95\)00047-H](https://dx.doi.org/10.1016/1359-4311(95)00047-H).
15. Mohanty B., Paloso Jr.G. Повышение эффективности газовой турбины за счет охлаждения входящего воздуха с использованием абсорбционного чиллера. *Heat Recovery Syst CHP* 1995;15:41e50. [https://dx.doi.org/10.1016/0890-4332\(95\)90036-5](https://dx.doi.org/10.1016/0890-4332(95)90036-5).
16. Kakaras E., Doukelis A., Karellas S. Охлаждение воздуха на входе компрессора в газотурбинных установках. *Energy* 2004;29:2347e58. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.043>
17. Boonnasa S., Namprakai P., Muangnapoh T. Повышение эффективности теплоэлектростанции комбинированного цикла за счет охлаждения воздуха на входе с использованием абсорбционного чиллера. *Energy* 2006;31:2036e46. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.09.010>.
18. Wang F.J., Chiou J.S. Интеграция впрыска пара и охлаждения воздуха на входе для системы газотурбинной генерации. *Energy Convers Manag* 2004;45:15e26. [https://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00125-0](https://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00125-0).
19. Bassily A.M. Повышение эффективности газотурбинного цикла с промежуточным охлаждением, повторным нагревом и рекуперацией за счет абсорбционного охлаждения на входе и испарительного доохлаждения. *Appl Energy* 2004;77:249e72.
20. Khaliq A., Dincer Ibrahim. Энергетический и эксергетический анализ работы теплоэлектростанции с когенерацией при использовании абсорбционного охлаждения на входе и испарительного доохлаждения. *Energy*. 2011;36:2662e70.
21. Sahil Popli, Rodgers Peter, Evelyn Valerie. Повышение эффективности газовой турбины с использованием абсорбционных чиллеров, работающих на отходящем тепле, в нефтегазовой отрасли. *Appl Therm Eng* 2013;50:918e31. <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.06.018>.
22. A.K. Mohapatra, Sanjay, Анализ параметров, влияющих на работу газовых турбин и установок комбинированного цикла с абсорбционным охлаждением воздуха на входе, *Int. J. Energy Res.* 38 (2014) 223e240. <https://dx.doi.org/10.1002/er.3046>.
23. A.K. Mohapatra, Sanjay, Термодинамическая оценка влияния методов охлаждения воздуха на входе на работу газовых турбин и установок комбинированного цикла, *Energy* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.066>.
24. Gord M.F., Dashtebayaz M.D. Влияние различных методов охлаждения воздуха на входе на работу газовой турбины. *Energy* 2011;36:1196e205.
25. X. Shi, B. Agnew, D. Che, J. Gao. Повышение эффективности традиционной теплоэлектростанции комбинированного цикла за счет охлаждения воздуха на входе, промежуточного охлаждения и использования холодной энергии СПГ, *Appl. Therm. Eng.* 30 (2010) 2003e2010. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.05.005>.
26. M.S. Briesch, R.L. Bannister, I.S. Diakunchak, D.J. Huber, Комбинированный цикл, разработанный для достижения эффективности более 60 процентов, *ASME J. Eng. Gas. Turbine Power* 117 (1995) 734e741.
27. El-shazly A.A., Sorour M.M., El-maghlany W.M. Повышение эффективности газовой турбины за счет использования различных интегрированных методов охлаждения воздуха на входе турбины, *Alexandria Eng J*, 55 (2016) 1903-1914. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.036>.
28. R.A. Barakat S, Named A.M. овышение эффективности газовой турбины с использованием интегрированной системы подземного теплообмена воздуха (ЕАНЕ) и распылительного охлаждения воздуха на входе, *Energy*, 189 (2019) 116-133. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116133>.
29. Erkinjon Matjanov. Повышение эффективности газовой турбины с использованием абсорбционного чиллера. Пример теплоэлектростанции Ташкента, *Energy*, 192 (2020) 116625. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116625>.
30. S. Boonnasaa et al. Повышение эффективности теплоэлектростанции комбинированного цикла за счет охлаждения входящего воздуха с использованием абсорбционного чиллера, A department Of Energy Tech-nology, King Mongkut's University Of Technology Thon-buri, Thungkhru, Bangkok 10140, Thailand, 2004. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.09.010>.



31. Marzouk A., Hanafi A. Термoeкономический анализ охлаждения воздуха на входе в газотурбинных установках, *Journal of Power Technologies* 93 (2) (2013) 90-99.

REFERENCES

1. GOST R 52200-2004 Ustanovki gazoturbinnye. Normal conditions and rated parameters. – М.: Gosstandart Rossii, 2004. – [Elektronny resurs]. – Rejim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200035178> – (Data obraucheniya 17.08.2023).
2. A.B. Bafoyevev, L.M. Eshkuvatov, U.U. Riskulov, S.D. Saimov. Study of cooling of air supplied to a gas turbine compressor, *Problems of energy and sources saving, Special issue No. 88, TSTU*, pp. 317 – 324, 2025.
3. Nosireva D.A. Assessment of the impact of ambient air temperature on gas turbine performance / D.A. Nosireva // *ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. – 2020. – № 1-2(59). – S. 65-70.
4. Sxyaev A.D. Use of absorption chillers in gas turbine compressor inlet air cooling systems / A.D. Sxyaev, T.G. Kuzmina // *Turbini dizeli*. – 2015. – № 5. – S. 10-13.
5. <https://www.turbineinletcooling.org>.
6. Abam F., Ugot I., Igbong D., Performance analysis and components irreversibilities of a (25 MW) gas turbine power plant modeled with a spray cooler, *American J. of Engineering and Applied Sciences* 2012; 5 (1): 35-41, <http://thescipub.com/html/10.3844/ajeassp.2012.35.41> (accessed 17 June 2014). <https://dx.doi.org/10.3844/ajeassp.2012.35.41>.
7. Ibrahim A.M., Varnham A. A review of inlet air-cooling technologies for enhancing the performance of combustion turbines in Saudi Arabia. *Appl Therm Eng* 2010; 30:1879e88. <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.04.025>.
8. Alhazmy M.M., Najjar Y.SH. Augmentation of gas turbine performance using air coolers. *Appl Therm Eng* 2004; 24:415e29. <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.09.006>.
9. Amell A.A., Cadavid F.J. Influence of the relative humidity on the air cooling thermal load in gas turbine power plant. *Appl Therm Eng* 2002; 22:1529e33. [https://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00063-7](https://dx.doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00063-7).
10. Srivastava G, Yadav R. Effect of inlet air refrigeration on the performance of combined cycle power plants. In: *ASME conference proceedings*; 2004. pp. 353e60. Paper No. POWER 2004-52147. <https://dx.doi.org/10.1115/POWER2004-52147>.
11. Lucia M., Bronconi R., Carnevale E. Performance and economic enhancement of cogen-eration gas turbines through compressor inlet air cooling. *Trans ASME J Eng Gas Turbines Pow-er* 1994; 116:360e5. <https://dx.doi.org/10.1115/1.2906828>.
12. Al-Ansari H.A., Ali M.A. Impact of the use of a hybrid turbine inlet air cooling system in arid climates. *Energy Convers Manag* 2013; 75:214e23. <https://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.005>.
13. Sepehr S, Fardad A, Masoud M. Thermoeconomic optimization of an ice thermal storage system for gas turbine inlet cooling. *Energy* 2011;36(2): 1057e67.
14. Najjar Yousef S.H. Enhancement of performance of gas turbine engines by inlet air cooling and cogeneration system. *Appl Therm Eng* 1996;162:163e73. [https://dx.doi.org/10.1016/1359-4311\(95\)00047-H](https://dx.doi.org/10.1016/1359-4311(95)00047-H).
15. Mohanty B, Paloso Jr.G. Enhancing gas turbine performance by intake air cooling using an absorption chiller. *Heat Recovery Syst CHP* 1995;15:41e50. [https://dx.doi.org/10.1016/0890-4332\(95\)90036-5](https://dx.doi.org/10.1016/0890-4332(95)90036-5).
16. Kakaras E, Doukelis A, Karellas S. Compressor intake-air cooling in gas turbine plants. *Energy* 2004;29:2347e58. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.043>.
17. Boonnasa S., Namprakai P., Muangnapoh T. Performance improvement of the combined cycle power plant by intake air cooling using an absorption chiller. *Energy* 2006;31:2036e46. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.09.010>.
18. Wang F.J., Chiou J.S. Integration of steam injection and inlet air cooling for a gas turbine generation system. *Energy Convers Manag* 2004;45:15e26. [https://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00125-0](https://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00125-0).
19. Bassily A.M. Performance improvements of the intercooled reheat recuperated gas-turbine cycle using absorption inlet-cooling and evaporative after-cooling. *Appl Energy* 2004;77:249e72.
20. Khaliq A., Dincer Ibrahim. Energetic and exergetic performance analyses of a combined heat and power plant with absorption inlet cooling and evaporative aftercooling. *Energy* 2011;36:2662e70.
21. Sahil Popli, Rodgers Peter, Eveloy Valerie. Gas turbine efficiency enhancement using waste heat powered absorption chillers in the oil and gas industry. *Appl Therm Eng* 2013;50:918e31. <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.06.018>.
22. A.K. Mohapatra, Sanjay, Analysis of parameters affecting the performance of gas turbines and combined cycle plants with vapor absorption inlet air cooling, *Int. J. Energy Res.* 38 (2014) 223e240. <https://dx.doi.org/10.1002/er.3046>.

23. A.K. Mohapatra, Sanjay, Thermodynamic assessment of impact of inlet air cooling techniques on Gas turbine and combined cycle performance, *Energy* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.066>.
24. Gord M.F., Dashtebayaz M.D. Effect of various inlet air cooling methods on gas turbine performance. *Energy* 2011;36:1196e205.
25. X. Shi, B. Agnew, D. Che, J. Gao, Performance enhancement of conventional combined cycle power plant by inlet air cooling, inter-cooling and LNG cold energy utilization, *Appl. Therm. Eng.* 30 (2010) 2003e2010. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.05.005>.
26. M.S. Briesh, R.L. Bannister, I.S. Diakunchak, D.J. Huber, A combined cycle designed to achieve greater than 60 percent efficiency, *ASME J. Eng. Gas. Turbine Power* 117 (1995) 734e741.
27. El-shazly A.A., Sorour M.M., El-maghlany W.M. Gas turbine performance enhancement via utilizing different integrated turbine inlet cooling techniques, *Alexandria Eng J*, 55 (2016) 1903-1914. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.036>.
28. R.A. Barakat S, Hamed A.M. Augmentation of gas turbine performance using integrated EAHE and Fogging Inlet Air Cooling System, *Energy*, 189 (2019) 116-133. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116133>.
29. Erkinjon Matjanov, Gas turbine efficiency enhancement using absorption chiller. Case study for Tashkent CHP, *Energy*, 192 (2020) 116625. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116625>.
30. S. Boonnasaa et al. Performance improvement of the combined cycle power plant by intake air cooling using an absorption chiller, A department of Energy Technology, King Mongkut's University Of Technology Thon-buri, Thungkhru, Bangkok 10140, Thailand, 2004. <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005.09.010>.
31. Marzouk A., Hanafi A. Thermo-economic analysis of inlet air-cooling in gas turbine plants, *Journal of Power Technologies* 93 (2) (2013) 90-99.