

Қорыта келгенде, әртүрлі сараптамаларға сәйкес мұнай өңдеуші заводтардағы бұ қазандықтарының энергетикалық тиімділігін арттыру үшін су-мазутты эмульсияны жанармай ретінде қолдануды ұсынуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, су буының конденсациясы беретін жылууды байланыстырғыш утилизаторында қолдану және конденсаттарды техникалық су ретінде қолдану мұнай өңдеуші кәсіпорындарының энергетикалық тиімділігін айтарлықтай арттырады.

ӘДЕБИЕТ

- [1] <http://www.afuelsystems.com>
- [2] Геллер С.В. Приготовление водомазутных эмульсий посредством волновой диспергации // Журнал "Новости теплоснабжения" (Москва). – 2010. № 4 (апрель). С. 21-23.
- [3] Федорова У.Д., Лебедева Е.А., Повышение энергоэффективности котельной установки // Современные наукоемкие технологии. – 2014. - № 5-1. - С. 184-186;
- [4] Попов А.С., Новгородский Е.Е., Пермяков Б.А. Групповая теплоутилизационная установка паровой котельной // Промышленная энергетика. 1997. № 1. С. 42-44.
- [5] Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. Л.: Недра, 1990. 280 с.
- [6] Богуславский Л.Д., Ливчак В.И. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирование воздуха. М.: Стройиздат, 1990. 624с.
- [7] Аронов И.З., Пресич Г.А., Смирнов В.А. Анализ тепловой эффективности контактных теплоутилизаторов с промежуточным теплообменником // Промышленная энергетика. 1986. № 1. С. 44-46.
- [8] Кудинов А.А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. - Ульяновск: Ул. ГТУ.- 2000.- 159с.
- [9] Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
- [10] Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
- [11] Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. - М.: МЭИ, 7-е изд., 2001.-472с.
- [12] Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям.-М.: Энергоатомиздат, 1985.-231с.
- [13] Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. -М.: Энергоатомиздат, 1985.-320с.
- [14] Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. 14-е изд.-М.: Энергия, 1990.- 365 с.
- [15] Усембеков С.У. Жылумен қамтамасыз ету жүйелері. - Алматы: АЭЖБИ, 1998.-78 б.
- [16] Деев Л.В., Балахничев Н. А., Котельные установки и их обслуживание, Москва, Высшая школа, 1990 г.
- [17] Охотин В. С. И др. Основы теплотехники, Москва, Высшая школа, 1984 г.
- [18] Бордюков А. П., Гинзбург-Шик Л. Д. Тепломеханическое оборудование тепловых электростанций, - М.: Энергия, 1978 г.

Инаятов А.Б., Байжуманов К.Д., Дарханова А.А.

Повышение энергетической эффективности паровых котлов в теплоэлектроцентrale

Резюме. Приведены способы повышения энергоэффективности котельной установки за счет использования водомазутной эмульсии и энергосберегающего оборудования. Представлена схема газовоздушного тракта котельной установки с включением энергосберегающего оборудования.

Ключевые слова: котельная установка, водо-мазутная эмульсия, энергосберегающее оборудование, энергоэффективность.

МРНТИ 44.31.31

R.K. Manatbayev, N.B. Kalasov

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: kalasov.nurdaulet@gmail.com)

APPLICATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN OPERATION OF GAS TURBINES

Abstract. At the turn of the twenty-first century, humanity faced a serious problem concerning not only the production of energy from non-renewable sources (coal, oil, gas, etc.) from an economic point of view, but also serious environmental difficulties that violate the dynamic equilibrium in nature. It is now clear that the widespread use of non-renewable energy sources leads to negative processes: to the growth of thermal, chemical and radioactive pollution of the environment, which disrupts the natural habitat of humans. Reducing fossil fuel consumption and replacing renewable sources of energy allows societies to overcome these problems.

Renewable energy sources can be used to generate electricity at gas turbines, and renewable energy can also be used with fossil fuels to reduce the cost of electricity generated and CO₂ emissions.

Studies by foreign scientists have shown that hybrid gas turbines using solar energy increase the efficiency of the installation, and also reduce the consumption of fossil fuels.

By its geographical position, the Republic of Kazakhstan is located in the wind belt of the northern hemisphere and there are fairly strong air currents in a large territory of Kazakhstan, mainly of the north-east and south-west directions. In some regions of Kazakhstan, the average annual wind speed is more than 6 m/s, which makes these areas attractive for the development of wind power.

For this reason, to improve the efficiency of GTI operation and reduce fuel consumption, this paper proposes to use wind turbines for direct replacement of fuel in thermal cycles of gas turbine installations, which has no analogues both in the Republic of Kazakhstan and abroad. Where the air is heated not with the help of exhaust gases, but with the help of an electric heater, which is powered by a wind generator.

Key words: Gas turbine installation, Wind energy installation, heat cycles, regenerative cycle, heat supply cycle.

Р.К. Манатбаев, Н.Б. Каласов

(Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан, e-mail: kalasov.nurdaulet@gmail.com)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАБОТЕ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК

Аннотация. На рубеже XXI века, с точки зрения экономики, человечество столкнулось с серьезной проблемой, касающейся не только производства энергии из невозобновляемых источников (уголь, нефть, газ и др.), но и с серьезными экологическими трудностями, нарушающими динамическое равновесие в природе. Теперь уже ясно, что широкое применение невозобновляемых источников энергии ведет к негативным процессам: к росту теплового, химического и радиоактивного загрязнения окружающей среды, что нарушает естественную среду обитания человека. Снижение потребления ископаемого топлива и замена возобновляемых источников энергии позволяют обществам преодолеть эти проблемы.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) можно использовать для выработки электроэнергии на газотурбинных установках, также ВИЭ можно применить с ископаемым топливом для уменьшения стоимости вырабатываемой электроэнергии и выбросов CO₂.

Исследования зарубежных ученых показали, что гибридные газотурбинные установки (ГТУ) использующие энергию солнца, увеличивает эффективность установки, также уменьшает расход ископаемого топлива.

Республика Казахстан по своему географическому положению находится в ветровом поясе северного полушария и на значительной территории Казахстана наблюдаются достаточно сильные воздушные течения, преимущественно северо-восточного, юго-западного направлений. В ряде районов Казахстана среднегодовая скорость ветра составляет более 6 м/с, что делает эти районы привлекательными для развития ветроэнергетики.

По этой причине для повышения эффективности работы ГТУ и уменьшения расхода топлива, в данной работе предлагается использовать ветроэнергетическую установку (ВЭУ) для прямого замещения топлива в тепловых циклах газотурбинных установок, который, не имеет аналогов как в РК, так и за рубежом. Где нагрев воздуха производится не с помощью отработавших газов, а с помощью электронагревателя, который питается ветрогенератором.

Ключевые слова: Газотурбинная установка, Ветроэнергетическая установка, Дарье, тепловые циклы, регенеративный цикл, цикл подводом теплоты.

Введение

Растущий спрос на энергию для различных целей, таких как экономическая и промышленная деятельность и отсутствие ископаемого топлива, в ближайшее время потребует модификацию существующих энергосистем.

Кроме того, ископаемое топливо имеет неблагоприятные экологические эффекты, которые побуждают общества снижать зависимость на них от своей деятельности. Снижение потребления ископаемого топлива и замена возобновляемых источников энергии позволяют обществам преодолеть эти проблемы. Годовой темп роста возобновляемых источников энергии для мира в период с 1990 по 2017 год составил 2,2%, что был выше, чем общий запас первичной энергии (1,9%).

Доля нетрадиционных источников энергии (НИЭ) в топливно-энергетическом балансе очень мала; также проблемой, которая касается всех регионов Казахстана, является энергоснабжение отдаленных сельских потребителей. Огромная территория Казахстана и низкая плотность населения в сельской местности требуют наличия сельских линий электропередач, протяженностью около 360 тыс.

км. Содержание сельских электрических сетей большой протяженности, равно как и значительные потери (25-50%) при передаче электроэнергии в значительной степени повышают стоимость электроэнергии, что делает энергоснабжение отдаленных небольших потребителей нерентабельным [1]. Альтернативой для энергоснабжения отдаленных потребителей может служить именно использование нетрадиционной неисчерпаемой энергии. Кроме того, применение НИЭ дает возможность комплексно решать задачи:

- снижения (существенного) отрицательного воздействия традиционной энергетики на окружающую среду;
- снижения, в известном масштабе, использования органического топлива в низкопотенциальных тепловых процессах и сохранение его как сырья для химической промышленности.

Таким образом, важнейшим аспектом энергетической политики стало создание экологически чистых энергетических установок на традиционных видах топлива, а также разработка и проведение мер по энергозамещению и ресурсосбережению. В РК разработана Государственная научно-техническая программа «Экологически чистая энергетика», включающая набор проектов решения этой проблемы.

Суровый климат, трудности с доставкой запчастей и отсутствие квалифицированного персонала вынуждают применять наиболее простые и, следовательно, наиболее надежные схемы и конструкции использования энергии ветра. Таким образом, обычная схема прямого включения ВЭУ в сеть здесь неприемлема, поскольку выпадает наиболее топливемкий сектор энергоснабжения – теплоснабжение. Также нужно будет сложно и дорого решать проблемы качества генерируемой электроэнергии ветроэлектрических станции (ВЭС) и резервирования мощности при том, что отработанной технологии ВЭС, в том числе поддержания необходимого качества производимой ими электроэнергии, в РК нет. К тому же, параллельная работа ВЭУ и ГТУ практически невозможна ввиду низкой маневренности последних.

В связи с этим представляется перспективным объединение ВЭУ Дарье и ГТУ в едином комплексе. Предлагается использовать электроэнергию ВЭУ для прямого замещения топлива в тепловых циклах газотурбинных установок. Где теплый воздух будет браться от электронагревателя, который питается за счет ветрогенератора.

ГТУ с использованием солнечной энергии

Солнечная энергия является одной из самых популярных возобновляемых источников энергии которая заметно развивается в последние годы из-за своей доступности и простоте эксплуатации. Солнечная энергия применяется для различных целей, таких как отопление, опреснение воды и выработка электроэнергии.

Способность к солнечному нагреву может быть использована для улучшения существующих электростанций, использующие ископаемое топливо [2, 3]. В этом методе выходной газ из компрессора газовой турбины нагревается солнечной энергией и затем поступает в камеру сгорания [4]. Нагрев сжатого воздуха с помощью солнечной энергии повышает эффективность установки. Более того, это приводит к снижению затрат на выработанную электроэнергию [5]. На основании исследования, проведенного Амелио М. и др. [6], использование солнечной энергии на электростанциях привело к более высокой эффективности (60,9% по сравнению с 51,4% для цикла, рассматриваемого в качестве эталонного условия), которое означает более низкий расход топлива для той же вырабатываемой мощности.

Солнечные газовые турбины практически используются для выработки электроэнергии. Siemens и Caterpillar являются одними из первых производителей солнечных газовых турбин [7, 8].

Исследования, проводимые на гибридных газотурбинных системах, растут в связи с повышением эффективности цикла и снижением расхода воды и топлива [9, 10]. Dabwan YN. и др. соавт. [11] провели исследование интегрированных электростанций на солнечной энергии и природном газе, и пришли к выводу, что уровень себестоимости вырабатываемой электроэнергии снизился в диапазоне от 75% до 86% относительно линейного отражателя Френеля.

В простых солнечных гибридных газотурбинных системах воздух, выходящий из компрессора, подогревается солнечной энергией перед поступлением в камеру сгорания [12]. При применении этой конфигурации производительность цикла будет улучшена по сравнению с обычными циклами Брайтона без предварительного нагрева воздуха. Такой компонент, как рекуперативное и аккумулирование тепловой энергии в цикле, позволяет повысить эффективность цикла [13]. Grange B.

• Технические науки

и др. соавт. [9] добавили блок аккумулятирования тепловой энергии (АТЭ) к электростанции, как показано на рисунке 1.

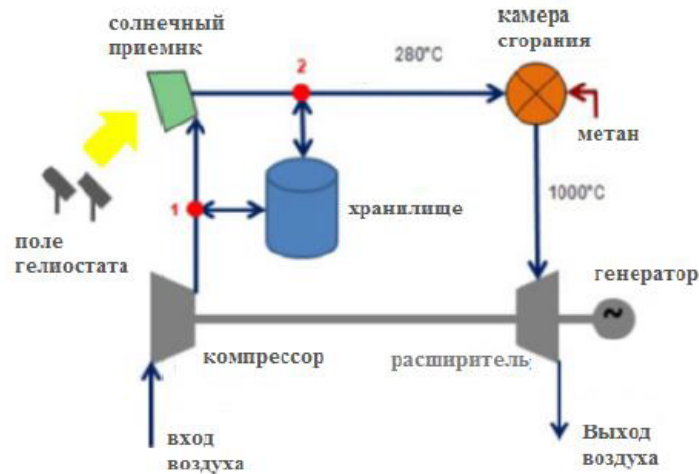


Рис. 1. Солнечная гибридная газовая турбина

Использование ветроэнергетической установки в работе газотурбинных установок

Для повышения эффективности работы ГТУ и уменьшения расхода топлива, в данной работе предлагается использовать ВЭУ для прямого замещения топлива в тепловых циклах газотурбинных установок. Где нагрев воздуха производится не с помощью отработавших газов, а с помощью электронагревателя, который питается ветрогенератором. Посредством электронагревателя 2, установленного в тракте ГТУ перед камерой сгорания (КС) топлива 4, подогревается воздух, поступающий в КС. Это соответственно позволяет снизить потребление топлива, изменением расхода которого поддерживается заданная температура газов на входе в турбину (рис. 2).

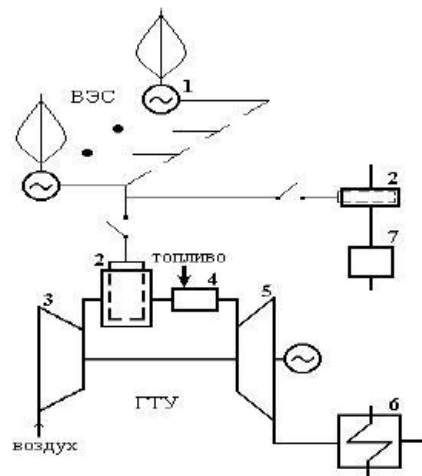


Рис. 2. Схема гибридной ГТУ использующей энергию ветра

1 - ветроэлектрическая установка; 2 - электронагреватель; 3 - компрессор; 4 - камера сгорания;
5 - газовая турбина; 6 - подогреватель сетевой воды или паровой котел; 7 - котельная

В работе рассматривался широко используемый турбокомпрессор SJ180 от Fuyuan turbo. Он используется в дизельных двигателях для судовых генераторов. В качестве преобразователя ветровой энергии был выбран ВЭУ Дарье карусельного типа. Эти вертикально-осевые аппараты имеют ряд преимуществ по сравнению с широко распространенными пропеллерными ветротурбинами: 1) не

зависит от направлений ветра, 2) высокий коэффициент использования энергии ветра, 3) так как турбина Дарье имеет вертикальную ось вращения, то генераторов тока можно разместить на уровне земли, это облегчить работу по обслуживанию и ремонту генераторов, 4) имеет значительную ометающую площадь. Технические характеристики конструкции приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики конструкции

Параметры	Значение
ВЭУ Дарье карусельного типа	
Мощность генератора, кВт	1,5
Рабочий диапазон скорости ветра, м/с	4-35
Номинальная скорость ветра, м/с	7
Диаметр ротора, м	2
Высота ротора, м	4
Число лопастей, шт	2
Число махов, шт	2
Частота вращения ротора, об/мин	60-130 об/мин
Диапазон температур эксплуатации, °С	От -50 до +50 °С
Срок службы силовых узлов	10 лет
Масса ВЭУ, кг	780
Турбокомпрессор SJ180 от Fuyuan turbo	
Массовый расход воздуха, кг/с	1,49
Изоэнтروпическая эффективность компрессора	0,85
Изоэнтропическая эффективность турбины	0,83
Коэффициент давления	3,69
Скорость [об / мин]	52000
Температура на входе в турбину, °С	400
Компоненты двигателя	
Давление в воздуховодах	0,02
Перепад давления в КС	0,02
КПД вала / генератора	0,98
Температура на входе в турбину, °С	400, 600, 800

Для данных компонентов ГТУ, производительность двигателя зависит главным образом от температуры на входе в турбину $T_{вх}$. Хорошо известно, что чем выше $T_{вх}$, тем лучше производительность двигателя. Однако, увеличение $T_{вх}$ делает необходимым использование более дорогих материалов. Свойства материала для используемых компонентов, в частности, турбины, накладывают ограничения на то, насколько высоким может быть $T_{вх}$. Ввиду этих противоположных тенденций, а также для получения информации, которая может быть полезна при выборе $T_{вх}$, моделирование характеристик исследуемой ГТУ выполняется для различных значений $T_{вх}$.

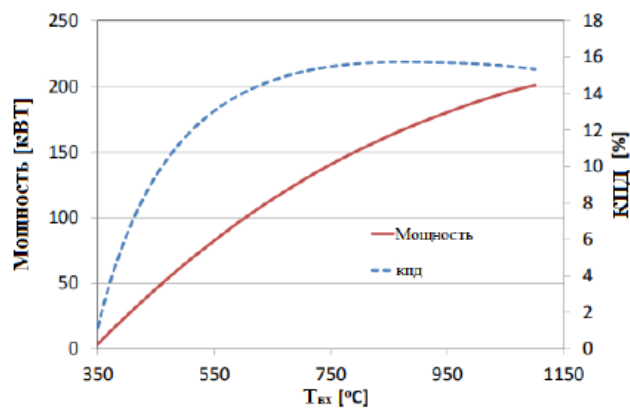


Рис.3. Зависимость мощности и термического КПД от температуры на входе в турбину

На рисунке 3 оценены и изображены мощность и термический КПД установки. Мощность увеличивается с $T_{вх}$, в то время как тепловая эффективность достигает максимума для $T_{вх}$, равного 850 °С. Здесь изучаются три случая температуры на входе турбины: (а) 400 °С, потому что это номинальная температура турбины на входе; (б) 800 °С, поскольку он является максимальным; и (с) 600 °С, промежуточное из двух, чтобы установить динамику производительности.

Таким образом получив необходимую температуру на входе в турбину имеем возможность повысить эффективность ГТУ, также уменьшить расход ископаемого топлива, что позволит уменьшить стоимость вырабатываемой электроэнергии и выбросов CO_2 .

Заключение

Актуальность внедрения такой схемы возрастает в связи с принятыми РК по Киотскому протоколу обязательствами по ограничению потребления топлива, а также существующей необходимостью замены изношенных дизельных электростанций и части котельных современными небольшими ГТУ-ТЭЦ, которые могли бы сразу комплектоваться ВЭУ. ГТУ здесь более привлекательны для использования на ТЭЦ, чем дизельные двигатели, поскольку допускают большую свободу в выборе температурного графика тепловой сети. Причем из-за относительно слабого влияния КПД ГТУ на топливную экономичность комплекса ГТУ+ВЭУ может быть целесообразен переход на пониженную температуру газа на входе в турбину ради повышения ресурса и надежности работы ГТУ. В течение всего срока эксплуатации ГТУ+ВЭУ морально не устареют относительно непрерывно совершенствуемых чисто топливных ГТУ, так как здесь удельный расход топлива на производство электроэнергии всегда будет ниже. При необходимости для уменьшения расхода топлива можно установить дополнительную ВЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дукенбаев К. Д. Нурекев Е. Энергетика Казахстана (технический аспект). - Алматы, 2001.-312 с.
- [2] Barigozzi G, Bonetti G, Franchini G, Perdichizzi A, Ravelli S. Thermal performance prediction of a solar hybrid gas turbine. *Sol Energy*. 2012;86:2116-2127.
- [3] Bellos E, Tzivanidis C, Antonopoulos KA. Parametric analysis and optimization of a solar assisted gas turbine. *Energy Convers Manage*. 2017;139:151-165.
- [4] Olivenza-León D, Medina A, Calvo Hernández A. Thermodynamic modeling of a hybrid solar gas-turbine power plant. *Energy Convers Manage*. 2015;93:435-447
- [5] Buck R, Brauning T, Denk T, Pfander M, Schwarzbozl P, Tellez F. Solar-hybrid gas turbine-based power tower systems (REFOS). *J Sol Energy Eng*. 2002;124(3):2-9.
- [6] Amelio M, Ferraro V, Marinelli V, Summaria A. An evaluation of the performance of an integrated solar combined cycle plant provided with air-linear parabolic collectors. *Energy*. 2014;69:742-748.
- [7] "www.siemens.com," Siemens. [Online].
- [8] "www.caterpillar.com," Caterpillar. [Online].
- [9] Grange B, Dalet C, Falcoz Q, Siros F, Ferrière A. Simulation of a hybrid solar gas-turbine cycle with storage integration. *Energy Procedia*. 2014;49:1147-1156.
- [10] Santos M, Merchán R, Medina A, Calvo Hernández A. Seasonal thermodynamic prediction of the performance of a hybrid solar gas-turbine power plant. *Energy Convers Manage*. 2016;115:89-102.
- [11] Dabwan YN, Mokheimer EM. Optimal integration of linear Fresnel reflector with gas turbine cogeneration power plant. *Energy Convers Manage*. 2017;148:830-843.
- [12] Ni M, Yang T, Xiao G, et al. Thermodynamic analysis of a gas turbine cycle combined with fuel reforming for solar thermal power generation. *Energy*. 2017;137:20-30.
- [13] Merchán R, Santos M, Reyes-Ramírez I, Medina A, Hernández AC. Modeling hybrid solar gas-turbine power plants: thermodynamic projection of annual performance and emissions. *Energy Convers Manage*. 2017;134:314-326.
- [14] Felsmann C, Gampe U, Freimark M. Dynamic Behavior of a Solar Hybrid Gas Turbine System. In ASME Turbo Expo, Montréal, Canada, 2015. -38

Манатбаев Р.К., Қаласов Н.Б.

Газ турбиналық қондырғылардың жұмысына альтернативті энергия көздерін қолдану

Түйіндеме. Жиырма бірінші ғасырдың басында адамзат жаңартылмайтын көздерден (көмір, мұнай, газ және т.б.) энергия көздерін экономикалық тұрғыдан ғана емес, табиғатта динамикалық тепе-теңдікті бұзатын күрделі экологиялық қиыншылықтарға қатысты маңызды проблемаға тап болды. Жаңартылмайтын энергия көздерін кеңінен пайдалану теріс процестерге әкеледі: қоршаған ортаның термиялық, химиялық және радиоактивті ластануының өсуіне, адамның табиғи мекенін бұзады. Қазба отынын тұтынуды азайту және жаңартылатын энергия көздерін ауыстыру қоғамға осы проблемаларды еңсеруге мүмкіндік береді.