



DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu10.2014.3.9>

УДК 621.438+697.3+658.264

ББК 39.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Курапин Алексей Викторович

Кандидат технических наук, доцент кафедры автотракторных двигателей
Волгоградского государственного технического университета
atd@vstu.ru
просп. Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, Российская Федерация

Гостевская Ольга Владиславовна

Старший преподаватель кафедры вычислительной техники
Волгоградского государственного технического университета
vt@vstu.ru
просп. Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, Российская Федерация

Сторожаков Станислав Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры электрификации и электроснабжения
Волгоградского филиала Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)
ppsts@gambler.ru
ул. им. милиционера Буханцева, 48, 400120 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Приводится анализ перспектив использования автономных источников энергоснабжения. Показаны преимущества использования газотурбинных и газопоршневых установок при когенерации тепла и электроэнергии. Кратко представлены основные виды тепловых насосов, приведены показатели, характеризующие их эффективность, показана сравнительная эффективность выработки тепла в газовой котельной и с помощью теплонасосных установок.

Ключевые слова: газотурбинные установки, газопоршневые установки, электроснабжение, теплоснабжение, тепловой насос, отопительный коэффициент, коэффициент трансформации тепла.

В последние годы большое развитие получили автономные источники энергоснабжения. Чтобы провести анализ перспектив их использования, рассмотрим возможные источники энергоснабжения для обычных промышленных и бытовых потребителей, расположенных в городских и сельских районах обжитых местностей. Представим их в виде схемы на рисунке 1.

Приоритетным направлением развития систем энергоснабжения в советское время было строительство крупных ГЭС, АЭС, ТЭЦ и котельных на твердом, жидком и газовом топливе с установленной мощностью в сотни и тысячи мегаватт. При этом для снабжения потребителей строились крупные распределительные тепло- и электросети.

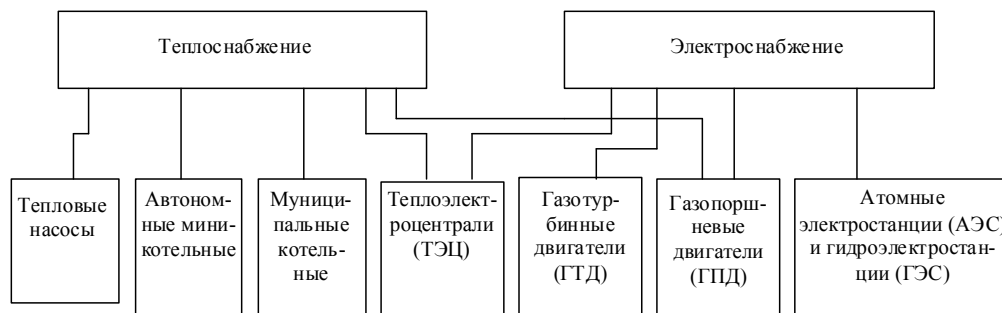


Рис. 1. Возможные источники тепло- и электроснабжения

С приходом рыночной экономики и спадом производства снизились общие нагрузки на энергосистемы и энергосети, сокращаются капитальные вложения в их реконструкцию и развитие, в результате чего энергетика работает на физически и морально устаревшем оборудовании в режиме истощения своего производственного потенциала.

Между тем уже первые варианты Энергетической стратегии России до 2020 г. предусматривали быстрый рост потребности в электроэнергии. Кроме того, пора выводить из работы значительную часть оборудования электростанций и сетей просто по нормативам и условиям безопасности. Чем его заменять? Часть дефицита электроэнергетических мощностей из-за выбывающего оборудования можно будет покрыть дополнительными мощностями АЭС и ГЭС. Однако этого недостаточно. Большую часть выбывающего оборудования заменить нечем. Необходимо строить новые электростанции. Но по современным строительным технологиям это инерционный процесс. На возведение станции необходимо не менее 5...7 лет. Окупается же сооружение электростанции лет за 30. Таким образом, уже в скором времени в России мощных электростанций будет недостаточно. Где же выход?

Он видится в использовании автономных и альтернативных источников энергии. В электроэнергетике это газотурбинные (ГТД) и газопоршневые (ГПД) двигатели, использование которых позволяет также осуществлять когенерацию тепла и электроэнергии. Установки с газотурбинными двигателями называются газотурбинными установками (ГТУ).

Рассмотрим подробнее указанные источники энергии.

ГТУ представляет собой энергетическую установку, в которой конструктивно объединены газовая турбина, электрический генератор, газоздушный тракт, система управления и вспомогательные устройства.

Газопоршневые энергетические станции на базе ГПД представляют собой электрогенераторные установки с первичным поршневым двигателем, работающим на природном газе, также утилизирующие выделяемое тепло. Потребление газа составляет 0,25...0,3 нм^3 на 1 кВт · ч выработанной электрической энергии.

Себестоимость электроэнергии, получаемая на газовой электростанции с ГПД, дешевле промышленного тарифа в 4 раза. В целом применение ГТД и ГПД для производства электроэнергии дает следующие преимущества:

- 1) снижение затрат на потребляемую электроэнергию до 15 % на период окупаемости и до 35 % на период эксплуатации;
- 2) дополнительное резервирование источников электроэнергии.

КПД установки увеличивается при ее использовании для совместного производства тепла и электроэнергии, например, при использовании ГТД это ГТУ-ТЭЦ. На Пермском заводе «Авиадвигатель» спроектирована ГТУ-ТЭЦ на базе ГТУ-16П. Ее электрическая мощность 16 МВт, тепловая – 22 Гкал/ч. КПД использования топлива составляет от 86 до 88 %. Без отпуска тепла удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии составит 384,7 г у.т./кВт·ч, а без отпуска электроэнергии (условно) удельный расход условного топлива на отпуск тепла будет 263,2 кг у.т./Гкал.

Данные величины нанесены на оси координат графика на рисунке 2 и соединены прямой линией, в соответствии с которой можно определять в базовом режиме удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии при задании удельного расхода на выработку тепла и наоборот. Этим графиком удобно пользоваться при определении экономии условного топлива при переоснащении существующих ТЭЦ, ГРЭС и котельных в ГТУ-ТЭЦ, а также при коммерческом перераспределении затрат на производство электроэнергии и тепла. Для наглядности на тот же график на рисунке 2 нанесены данные по средним в России удельным расходам условного топлива на ТЭЦ. Из рисунка 2 видны значительные преимущества газотурбинных технологий в области энергосбережения и экономии топлива по сравнению с существующими ТЭЦ.

Высокоэффективным и экологичным источником тепла в системах теплоснабжения могут стать тепловые насосы.

Тепловой насос представляет собой тепловую машину, работающую по обратному циклу. Тепловая машина, работающая по прямому циклу, получает тепло от высокотемпературного источника и сбрасывает его при низкой температуре, отдавая полезную работу. Тепловой насос требует затраты работы для получения тепла при низкой температуре из низкотемпературного источника теплоты и отдачи его в виде теплоты среднего потенциала при более высокой температуре.

Парокомпрессионные тепловые насосы (ПТН) в качестве затрачиваемой работы используют механическую энергию электрического привода или привода от теплового двигателя (возможно также использование ветродвигателей), а в качестве теплоты низкого потенциала – возобновляемую природную теплоту термальных, грунтовых и поверхностных вод, грунта, атмосферного воздуха либо техногенную сбросную теплоту технологических процессов промышленных производств, сточных вод биологических и других очистных сооружений с температурой 5...50 °С.

Использование в ПТН электроэнергии, вырабатываемой за счет возобновляемой гидравлической энергии больших и малых рек на ГЭС или ветровой энергии и низкотемпературной теплоты грунтовых вод, имеющих в изобилии особенно в поймах рек, позволяет производить тепловую энергию для теплоснабжения без загрязнения окружающей среды. При использовании электроэнергии, вырабатываемой за счет сжигания органического топлива выбросы вредных веществ происходят на удаленных ТЭЦ, в отличие от местных и автономных котельных, в которых загрязнение окружающей среды происходит в районе их размещения, в непосредственной близости от потребителей тепловой энергии.

Абсорбционные тепловые насосы (АТН) в качестве энергии высокого потенциала используют теплоту сжигания топлива или тепловую энергию конденсации водяного пара с

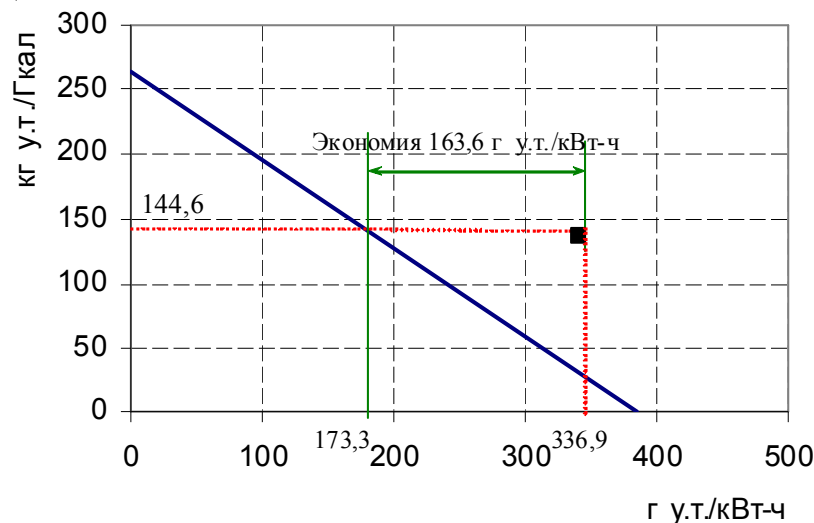


Рис. 2. Соотношения удельных расходов условного топлива на выработку электроэнергии и тепла для ГТУ-ТЭЦ (■ – среднее по ТЭЦ России)

давлением не ниже 0,4 МПа, теплоту охлаждения горячей воды с начальной температурой выше 145 °С; в качестве теплоты низкого потенциала – возобновляемую теплоту термальных вод либо техногенную сбросную теплоту с температурой 20...50 °С.

Полученное от теплового насоса количество полезной теплоты среднего потенциала равно сумме теплоты низкого потенциала (утилизируемой) и затраченной работы в тепловом эквиваленте, то есть часть теплоты среднего потенциала получена из природной или сбросной техногенной теплоты. Это определяет энергетическую и, как следствие, экономическую и экологическую слагаемые эффективности тепловых насосов по сравнению с котельными на органическом топливе при одинаковой тепловой мощности.

Эффективность теплового насоса оценивается так называемым отопительным коэффициентом $\varepsilon_{от} = Q_{п} / L_3$, где $Q_{п}$ – теплота, полученная потребителем, а L_3 – работа в тепловом эквиваленте, затраченная на привод компрессора в ПТН, или теплота высокого потенциала, израсходованная в АТН. В технической литературе отопительный коэффициент также называют коэффициентом трансформации тепла (КТТ, чаще используется для АТН).

Отопительный коэффициент реального обратного цикла Ренкина, осуществляемого в ПТН:

$$\varepsilon_{от} = Q_{п} / L_3 = \varepsilon_{от.ид} \cdot \mu,$$

где $\varepsilon_{от.ид} = T_k / (T_k - T_0)$ – отопительный коэффициент идеального цикла Карно в диапазоне температур конденсации T_k и кипения T_0 рабочего тела цикла; μ – коэффициент, учитывающий необратимые потери в цикле.

Практически, для ПТН типа «вода – вода»:

$$\begin{aligned} T_k &= 273 + [t_w + (5...10)] \text{ К}; \\ T_0 &= 273 + [t_s - (2...4)] \text{ К}, \end{aligned}$$

где t_w – температура получаемого потребителем теплоносителя (нагреваемой воды на выходе из конденсатора), °С; t_s – температура низкотемпературного источника теплоты (охлаждаемой воды на выходе из испарителя ПТН), °С.

Практические значения μ в диапазоне реальных температур конденсации T_k (65...70 °С) и температур кипения T_0 (0...10 °С) рабочего тела составляют 0,55...0,70, при этом более низ-

кие значения соответствуют крупным ПТН. Например, в ПТН тепловой мощностью 1 МВт при температуре низкотемпературного источника теплоты, равной 7 °С, и температуре нагретой воды для потребителя теплоты, равной 60 °С, $\varepsilon_{от}$ составляет 3,0. Величина отопительного коэффициента существующих ПТН $\varepsilon_{от} = 2,0...5,0$.

Коэффициент трансформации тепла АТН обозначается в технической литературе выражением $\zeta = Q_{п} / Q_{г}$, где $Q_{п}$ – количество произведенной теплоты, $Q_{г}$ – количество высокопотенциальной теплоты, затраченной в генераторе АТН (в основном применяются абсорбционные бромистолитиевые тепловые насосы АБТН, в которых в качестве рабочей пары веществ используется раствор бромистого лития – абсорбент, вода – хладагент).

Коэффициент трансформации тепла АБТН с одноступенчатой регенерацией раствора составляет 1,65...1,75, то есть в получаемой потребителем теплоте среднего потенциала на каждую единицу теплоты высокого потенциала вовлекается в полезный оборот 0,65...0,75 единиц теплоты низкого потенциала. В АБТН с двухступенчатой регенерацией раствора коэффициент трансформации равен 2,0...2,1 и утилизируемая теплота составляет более половины получаемой потребителем теплоты.

Экономия топлива при сопоставлении теплоснабжения с помощью тепловых насосов и котельных определяется уравнением:

$$\Delta G = G_k (1 - K_k / K_{тн}),$$

где G_k – расход топлива в котельной в единицах условного топлива; $K_k, K_{тн}$ – коэффициенты использования первичной энергии в котельной и тепловом насосе.

Для котельной $K_k = \eta_k$, где η_k – КПД котла. Для ПТН $K_{тн} = \varepsilon_{от} \cdot \eta_{ээ} (K_{тн} = \varepsilon_{от} \cdot \eta_{тд})$, где $\eta_{ээ}$ – КПД производства электроэнергии в случае использования ПТН с электроприводом; $\eta_{тд}$ – КПД производства энергии в случае использования ПТН с тепловым двигателем (дизель, газовая турбина).

Для АБТН $K_{АБТН} = \zeta \cdot \eta$, где η – КПД собственной котельной или топки АБТН (реальный $\eta = 0,8...0,9$).

На рисунках 3 и 4 показана экономическая эффективность использования тепловых насосов.

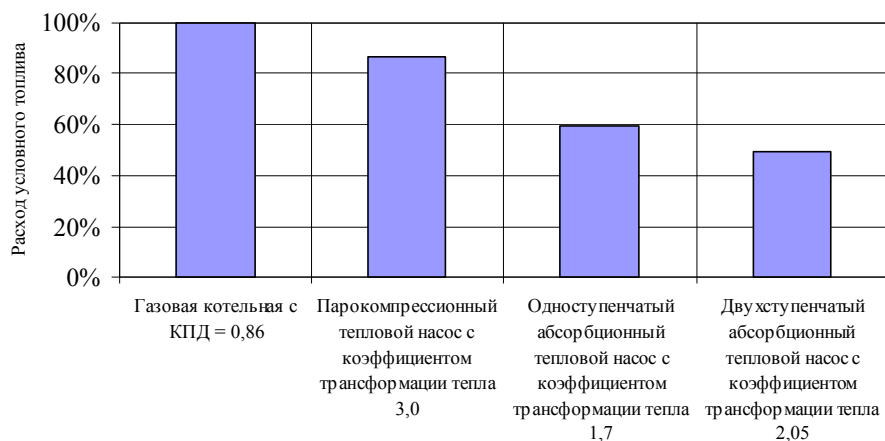


Рис. 3. Уменьшение расхода условного топлива при использовании тепловых насосов по сравнению с газовой котельной

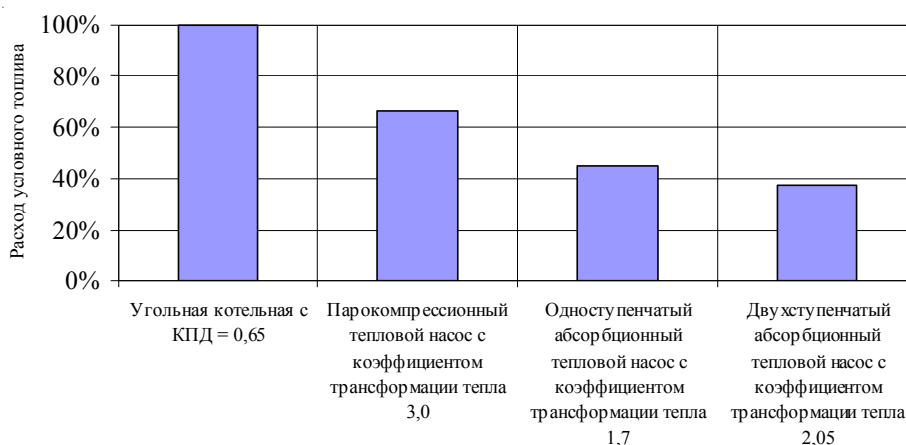


Рис. 4. Уменьшение расхода условного топлива при использовании тепловых насосов по сравнению с угольной котельной

Расчеты выполнены для котельной тепловой мощностью 1,0 Гкал/ч (1,163 МВт), годовая выработка тепловой энергии – 2616 Гкал, расход топлива на ТЭЦ – 0,3 кг ут. на 1 кВт·ч, теплотворная способность топлив принята: угля – 4,66 Гкал/т, природного газа – 7,94 Гкал/1000 нм³.

Однако при действующих тарифах на электроэнергию работа тепловых насосов с электроприводом может оказаться убыточной. Поэтому после тщательных экономических расчетов может оказаться более выгодным применение для привода тепловых насосов газопоршневых или газотурбинных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков, В. Г. Тепловые насосы : Аналитический обзор / В. Г. Горшков // Справочник

промышленного оборудования. – 2004. – № 2. – С. 47–80.

2. Курапин, А. В. Тепловые насосы как высокоэффективные альтернативные источники тепловой энергии / А. В. Курапин, О. В. Гостевская // Современные железные дороги: достижения, проблемы, образование : материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф., 23 мая 2013 г. – Волгоград : Волгоградское научное издательство, 2013. – С. 139–143.

3. Ольховский, Г. Г. Энергетические газотурбинные установки / Г. Г. Ольховский. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.

4. Васильев, А. В. Профилирование высокоэффективных кулачков газораспределения двигателей внутреннего сгорания / А. В. Васильев, Ю. С. Бахрачева, У. Каборе // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2013. – № 2. – С. 96–102.

5. Рей, Д. Тепловые насосы : пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмайкл. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.

6. Целевое видение стратегии развития электроэнергетики России на период до 2030 г. / Ю. А. Зейгарник, В. М. Масленников, В. В. Нечаев, И. С. Шевченко // Теплоэнергетика. – 2007. – № 11. – С. 2–13.

7. Bakhracheva, Ju. S. Fracture Toughness Prediction by Means of Indentation Test / Ju. S. Bakhracheva // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2013. – Vol. 9, № 3. – С. 21–24.

8. Valve cam design using numerical step-by-step method / A. V. Vasilyev, J. S. Bakhracheva, O. Kabore, Ju. O. Zelenskij // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность. – 2014. – № 1 (10). – С. 26–33.

REFERENCES

1. Gorshkov V.G. Teplovye nasosy. Analiticheskiy obzor [Thermal Pumps. Analytical Review]. *Spravochnik promyshlennogo oborudovaniya*, 2004, no. 2, pp. 47-80.

2. Kurapin A.V., Gostevskaya O.V. Teplovye nasosy kak vysokoeffektivnye alternativnye istochniki teplovoy energii [Thermal Pumps as Highly Efficient Alternative Sources of Heat Power]. *Sovremennye zheleznye dorogi: dostizheniya, problemy, obrazovanie: materialy 6-y Mezhdun. nauch.-prakt. konf., 23 maya 2013 g.* [Modern Railways: Achievements, Problems, Education: Proceedings of the 6th International Science and Practice Conference, May 23, 2013]. Volgograd, Volgogradskoe nauchnoe izdatelstvo, 2013, pp. 139-143.

3. Olkhovskiy G.G. *Energeticheskie gazoturbinnye ustanovki* [Energy Gas-Turbine Installations]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1985. 304 p.

4. Vasilyev A.V., Bakhracheva Yu.S., Kabore U. Profilirovanie vysokoeffektivnykh kulachkov gazoraspredeleniya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Profiling of Highly-Efficient Cams of Gas Distribution in Internal Combustion Engines]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatelnost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2013, no. 2, pp. 96-102.

5. Rey D., Makmajkl D. *Teplovye nasosy* [Thermal Pumps]. Moscow, Energoizdat Publ., 1982. 224 p.

6. Zeygarnik Yu.A., Maslennikov V.M., Nechaev V.V., Shevchenko I.S. Tselevoe videnie strategii razvitiya elektroenergetiki Rossii na period do 2030 g. [Goal-Oriented Vision of the Strategy of Russian Power Engineering Development for the Period Up to 2030]. *Teploenergetika*, 2007, no. 11, pp. 2-13.

7. Bakhracheva Yu.S. Fracture Toughness Prediction by Means of Indentation Test. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2013, vol. 9, no. 3, pp. 21-24.

8. Vasilyev A.V., Bakhracheva Yu.S., Kabore O., Zelenskij Yu.O. Valve Cam Design Using Numerical Step-by-Step Method. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10, Innovatsionnaya deyatelnost* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and Innovations], 2014, no. 1 (10), pp. 26-33.

PROSPECTS OF USING AUTONOMOUS SOURCES OF POWER SUPPLY

Kurapin Aleksey Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Car and Tractor Engines,
Volgograd State Technical University
atd@vstu.ru
Prosp. Lenina, 28, 400005 Volgograd, Russian Federation

Gostevskaya Olga Vladislavovna

Assistant Professor, Department of Computer Science,
Volgograd State Technical University
vt@vstu.ru
Prosp. Lenina, 28, 400005 Volgograd, Russian Federation

Storozhakov Stanislav Yuryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Electrification and Electric Power Supply,
Volgograd Branch of Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ)
ppsts@rambler.ru
Bukhantseva St., 48, 400120 Volgograd, Russian Federation

Abstract. The article presents the analysis of the prospects of using autonomous sources of power supply. The authors reveal the advantages of using gas-turbine and gas-piston installations with cogeneration of heat and electricity. The article contains brief description of basic kinds of thermal pumps, the indices of their efficiency, shows the comparative efficiency of heat generation in the gas boiler-room and by means of the thermal pump installations.

In recent years autonomous sources of power supply have been successfully developed. To carry out the analysis of prospects of their use, the authors considered possible sources of power supply for ordinary industrial and household consumers, located in urban and rural areas.

The number of power plants in Russia is insufficient and there is need to build new ones. Or there is another choice – to use autonomous and alternative energy sources. In power industry they are represented by gas-turbine and gas-piston engines. Gas-turbine installation represents power installation in which gas turbine, electric generator, air-gas path, control system and auxiliary devices are structurally integrated. Thermal pumps can become highly effective and eco-friendly source of heat in the systems of heat supply. The thermal pump represents the thermal engine working on the reverse cycle. The thermal engine working on direct cycle, receives heat from a high-temperature source and dumps it at a low temperature, thus ensuring productive work. The thermal pump demands work expense for receiving heat at a low temperature and it returns the warmth of average potential at higher temperature.

However, taking into account current tariffs for the electric power of thermal pumps with the electric drive, they can be unprofitable. Therefore after careful economic calculations it was revealed that the application for the drive of thermal pumps of gas-piston or gas-turbine engines can be more favorable.

Key words: gas-turbine installations, gas-piston installations, power supply, heat supply, thermal pump, heat coefficient, coefficient of heat transformation.