

Анализ Эффективности Теплонасосных Установок И Традиционных Генераторов Теплоты

Карабаев Асатилла Суннатиллаевич старший преподаватель,

Нурматов Тахир Бахтиярович старший преподаватель,

Йуллиев Шукуралли Равшан угли ассистент,

Амиров Диёр Бина угли магистр

Ташкентский государственный технический университет Республика Узбекистан

Аннотация: В статье представлено сопоставления эффективности ТНУ и традиционных генераторов теплоты, рекомендуется применять более обобщенный критерий - коэффициент использования первичной энергии «К». Для испытания теплового насоса на CO₂ был создан специальный стенд с системой измерения и обработки данных. Данный стенд разработан на основе теплового насоса фирмы SANDEN.

Ключевые слова: теплонасосные установки, коэффициент эффективности, низкотемпературная теплота, условное топливо, теплотворную способность, газоохладитель, испаритель.

INTRODUCTION.

Введение

Рациональное использование энергетических ресурсов является важнейшей проблемой современности. Это определяется не только ростом потребности, удорожанием их добычи и производства, но и тем что по объему использования энергетических ресурсов и связанному с этим воздействием на природу человечество приближается к предельно допустимому порогу.

Теплонасосная установка (ТНУ)-современный источник энергии, используемой для работы систем кондиционирования, отопления горячего водоснабжения. В отличии от других теплогенераторов (газовых, дизельных, электрических), теплонасосная установка "выкачивает" накопленную за теплое время года энергию из окружающей среды - грунта, скальной породы, водоёма.

Утилизация выбрасываемой низкотемпературной теплоты с помощью теплонасосных установок для целей

теплоснабжения является одним из эффективных энергосберегающих технических решений.

За рубежом в последние годы быстро растет производство теплонасосных установок и их применение, в основном, для отопления и кондиционирования воздуха в жилищном секторе. Более мощные теплонасосные установки (ТНУ) применяются для теплоснабжения крупных зданий, а также для низкотемпературных процессов нагрева в промышленности и сельском хозяйстве.

Методология исследования и его результаты

Для сопоставления эффективности ТНУ и традиционных генераторов теплоты, например, котельных, рекомендуется применять более обобщенный критерий - коэффициент использования первичной энергии «К». Базой сравнения служит первичная энергия. Под первичной энергией понимается энергия первичных энергоносителей. Коэффициент использования первичной энергии находят как

отношение полезной энергии к подведённой первичной энергии. Полезной является энергия, которая поступает в распоряжение потребителя после последнего технического преобразования и используется для технологических нужд.

Под подведённой первичной энергией понимается теплотворная способность израсходованного топлива (для условного топлива 29,3 ГДж/т.у.т).

Наименее эффективен с этой точки зрения прямой электрический обогрев $K_{эл} = 0,27 - 0,39$, так как на тепловой электростанции при выработке электроэнергии и ее транспортировке по сетям теряется 70% первичной энергии [1].

Теплоснабжение прямым сжиганием топлива в котельной приводит к потере 20% первичной энергии. Коэффициент использования первичной энергии примерно равен КПД котельной $K = 0,75-0,85$.

Тепловые насосы в отличии от других систем теплоснабжения могут обеспечить экономию первичной энергии, т.е. $K > 1$.

Коэффициент использования первичной энергии для ТНУ с электроприводом равен

$$K_{ТН} = COP * K_{эл},$$

где COP - коэффициент эффективности ТН.

$K_{эл}$ - коэффициент использования первичной энергии при выработке электроэнергии.

Таким образом при $COP=2,6$ эффективность ТНУ уравнивается с котельной.

В таблице 1. даётся сравнительные результаты расчетов годовых затрат на отопление дома разными системами. Тарифы энергоносителей указаны на 1 мая 2024 год.

Таблица 1. Затраты на отопление дома (в отопительный период) площадью 100 м² (7,5 кВт) разными системами с 1 мая 2024 года

Тип теплогенератора системы отопления и его КПД (%)	Теплота сгорания топлива	Годовая потребность	Цена энергоносителя	Затраты для дома площадью 100 м ² , сум.
Газовый котел (87 %)	9,5 кВт*ч /м ³	22,9 (26) м ³ /м ²	650 (1500) сум/м ³	2 200 000
Электрический котел (99 %)	-	217,5 (220) кВт*ч/м ²	450 (900, 1350, 1575) сум/кВт*ч	27 974 700
Жидкотопливный котел (солярка) (86 %)	11,9 кВт*ч /л	18,2 (21) л/ м ²	11 000 сум/л	23 100 000
Тепловой насос	-	85 кВт*ч /м ²	450 (900, 1350) сум/кВт*ч	9 306 500

В расчётах приняты: теплотери дома 75 Вт/м², расход на горячую воду 10%, длительность в году 2900 ч, коэффициент энергоэффективности теплового насоса $COP=2,56$.

Отсюда вытекает невыгодность на сегодняшний день использования электроприводных ТНУ, несмотря на

значительную экономию первичной энергии по сравнению с котлом работающим на природном газе.

Экономия топлива при сопоставлении теплоснабжения с помощью ТНУ с каким-либо альтернативным способом:

$$\Delta G = G_{ал} \left(1 - \frac{K_{ал}}{K_{ТН}} \right),$$

где $G_{ал}$ - расход топлива при альтернативном способе теплоснабжения в тоннах условного топлива (т.у.т.),

$K_{ал}$, $K_{ТН}$ - коэффициенты использования первичной энергии альтернативного способа и ТНУ.

С экономической точки зрения применение ТНУ может быть оправдано в случае, если стоимость сэкономленной энергии (топлива) превышает увеличение не электрической части приведенных годовых затрат (капитальных затрат, затрат на обслуживание и ремонт), которые выше при применении ТНУ как более сложных и дорогих.

Для ТНУ доходная часть может быть оценена как:

$$\Delta Z = Z_{ал} \left(1 - \frac{\mathcal{E}_{эл} K_{ал}}{\mathcal{E}_T * COP} \right),$$

где $Z_{ал}$ - расходы на расходуемую энергию (топливо) при альтернативном способе теплоснабжения, сум,

$\mathcal{E}_{эл}$ - стоимость электроэнергии, сум/кВт*ч,

\mathcal{E}_T - стоимость топлива в пересчете на его теплотворную способность сум/кВт*ч.

Экономия средств $\Delta Z > 0$ возможна лишь при условии:

$$1 > \frac{\mathcal{E}_{эл} K_{ал}}{\mathcal{E}_T * COP}.$$

Его выполнение в большей степени определено соотношением тарифом $\mathcal{E}_{эл} / \mathcal{E}_T$. Мировой опыт показывает, что приемлемый срок окупаемости электроприводных ТНУ (2,5-3,5 года) обеспечивается при $\mathcal{E}_{эл} / \mathcal{E}_T = 2,5$. В Германии и Швеции это соотношение составляет соответственно 2,2 и 1,3. В Узбекистане в настоящее время эти соотношения находятся в постоянной динамике.

В Узбекистане за последние 15 лет динамика роста цен на природный газ обгоняет динамику роста цен на электричество. Если в 2022 году использования ТНУ для дома площадью 300 м² было дороже 2,6 раза по сравнению с газовым котлом, то в 2006 году этот показатель был равен 7,43. Возможно, через несколько лет дальнейший рост тарифов на природный газ и электричество, а также повышения энергоэффективности ТНУ, позволят увеличить объём эксплуатации теплонасосных установок. Особенно, для объектов, находящихся вдали от газовых магистралей использования теплонасосных отопительных установок, является экономически оправданным решением.

Для систем на CO₂ характерна более высокая зависимость их эффективности от области применения и климатических условий по сравнению с системами на других хладагентах. Снижение эффективности системы с увеличением температуры конденсации является характерным признаком всех хладагентов, а CO₂ принадлежит к хладагентам, для которых это снижение

наиболее заметно. Хорошие теплофизические свойства CO_2 в определенной степени компенсируют этот недостаток.

CO_2 характеризуется высокой энергоемкостью при повышенных температурах, и при возможности утилизации выделяющегося тепла для нагрева воды в системе хозяйственно-бытового водоснабжения или иных аналогичных целей общая эффективность системы становится очень высокой.

Для испытания теплового насоса на CO_2 был создан специальный стенд с системой измерения и обработки данных. Данный стенд разработан на основе теплового насоса фирмы SANDEN, который относится к экологической организации ERP Франции. Вся система теплового насоса фирмы SANDEN соответствует Европейской директиве 2002/95/CE относительно ограничения использования некоторых опасных веществ в электронном оборудовании и электронике.

Установка представляет собой одноступенчатую машину, работающей на углекислом газе – CO_2 (R744) с системами подачи воды в газоохладитель и воздуха в испаритель.

Испытание стенда производилось при различных температурах окружающей среды. Опытные данные обрабатывались, и были определены такие показатели как, зависимости теплопроизводительности Q_T и электрическая мощность компрессора $N_{эл}$, COP, удельный расход электроэнергии и термодинамический КПД в зависимости от температуры наружного воздуха при температурах поступающей воды 10°C , 30°C и 45°C .

При изменении температуры окружающего воздуха от -14°C до $+21^\circ\text{C}$ теплопроизводительность установки повышается. В зоне отрицательных значений

температур воздуха рост теплопроизводительности был на много интенсивнее, чем в зоне плюсовых температур.

При изменении температуры окружающего воздуха от -14°C до $+21^\circ\text{C}$ электрическая мощность установки понижается. При температуре воды на входе 45°C были высокие значения потребление энергии, а при температуре воды 10°C наблюдались относительно низкие значения потребление энергии.

Как и теплопроизводительность, при изменении температуры окружающего воздуха от -14°C до $+21^\circ\text{C}$ COP установки повышается. Наилучший результат значения COP был при работе установки на более холодной воде (10°C) – 4,5, который на 55% больше, чем при работе на воде с температурой 45°C .

Удельный расход электроэнергии установки – a уменьшался с увеличением температуры окружающего воздуха. В области отрицательных температур, a имеет более высокие значения чем при плюсовых температурах.

Затраты (удельные) при температуре воды 10°C был в среднем на 48-59% меньше, чем при использовании воды с температурой 45°C . А при поступлении воды в установку с температурой 30°C затраты на 4,8-14% больше, чем при 10°C .

Температурная область максимальных значений термодинамического КПД приходится на интервал $-5 \dots +7^\circ\text{C}$ при всех температурах воды, поступающий в газоохладитель установки.

Абсолютно высокие КПД наблюдались при поступлении воды с температурой 30°C . Кроме этого, именно в этом случае наблюдался более широкий температурный интервал ($-10 \dots +12^\circ\text{C}$), где значение КПД превышало 40%.

В режиме до температуры воздуха $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ установка при работе с водой $t_w = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ уступала рабочему режиму $t_w = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. После этой температуры КПД стал выше.

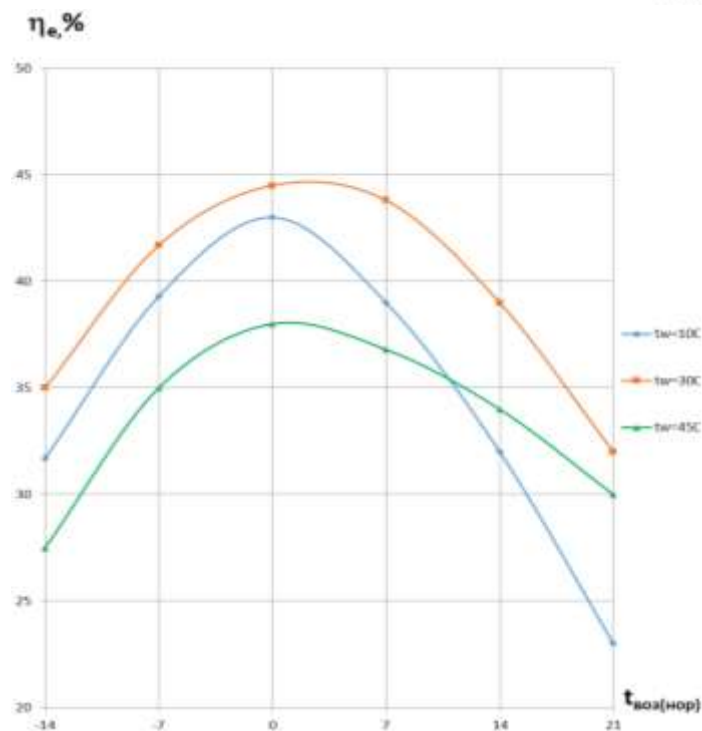
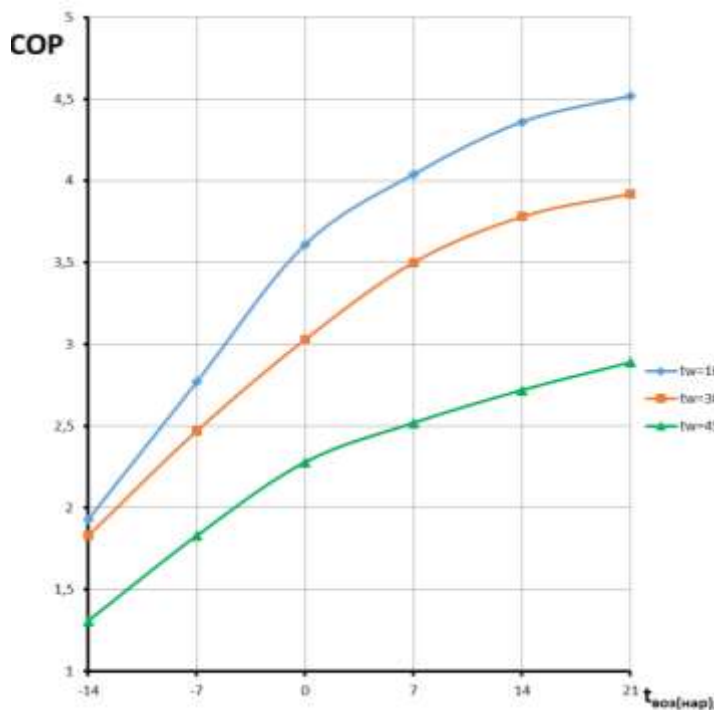


Рисунок 1. Зависимость COP и термодинамического КПД установки от температуры наружного воздуха при фиксированных температурах входящей воды t_w

В теплое и жаркое время года на этом стенде была применена практика полезного использования воздуха внутри помещения в качестве низкопотенциального источника. В этом случае установка одновременно использовалась как кондиционер и тепловой насос, производя холод и тепло. Данная практика дала возможность *повысить COP комбинированного цикла 1,5 раза и достичь значения 6 и более. В данной установке полученная экономия электрической энергии от внедрения этой практики составила 277 кВтч/год.*

Литература

1. Проект теплонасосной станции для утилизации теплоты оборотной воды на АПО «Узметкомбинат». Отчет по хоздоговору 10/08 – 2588/09-2008.
2. K. Karimov, T. Nurmatov, A. Norkhujayev, M. Abdullayev, A. Karabaev. Heat-pump system on natural refrigerant CO₂. E3S Web of Conferences Volume 461 (2023). Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2023). Olkhon isl., Russia, July 9-15, 2023. V. Stennikov, S. Senderov, A. Michalevich and H. Guliev (Eds.)
3. Руководство по энергоэффективности холодильного оборудования, кондиционеров воздуха и тепловых насосов, Бишкек, Б.:2018 -43 с.
4. Калнинь И.М., Фадеков К.Н., Оценка эффективности термодинамических циклов парокompрессионных

ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И ТЕПЛОВЫХ
НАСОСОВ. //Холодильная техника 2006
№3 С 15-24.

5. Энергоэффективность в зданиях:
скрытый ресурс устойчивого развития
Узбекистана. ПРООН, Ташкент, 2014.
6. http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf.

https://www.uz.undp.org/content/uzbekistan/ru/home/library/environment_energy/potential-for-improving-energy-efficiency-in-the-refrigeration-a.html.