

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра теплосиловых установок и тепловых двигателей

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Методические указания
к лабораторным работам**

**Санкт-Петербург
2019**

УДК621.1(075)

Технологические энергоносители предприятий: методические указания к лабораторным/сост. Т. Ю. Короткова, А. Д. Монашенко; ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб., 2019.- 24 с.

Приводятся алгоритмы выполнения лабораторных работ по исследованию установки «Тепловой насос Measlab» и оценки ее основных показателей эффективности.

Предназначены для студентов ИЭиА и ИБФО, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профили «Промышленная теплоэнергетика» и «Энергетика теплотехнологий».

Рецензент: профессор кафедры энергетических установок (не ядерных) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», д-р техн. наук В.В.Барановский.

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой теплосиловых установок и тепловых двигателей ВШТЭ СПбГУПТД(протокол № 5 от 30.01.2019).

Утверждены к изданию методической комиссией Института энергетики и автоматизации ВШТЭ СПбГУПТД(протокол № 5 от 01.02.2019).

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2019

Корректор Т.А. Смирнова
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2019 г., поз. 14

Подп. к печати 12.02.2019. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать офсетная. Объем 1,5 печ.л; 1,5 уч.-изд.л. Тираж 150 экз.
Изд. № 14. Цена "С" . Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ПАРОКОМПРЕССИОННОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Цель работы

Закрепление теоретических знаний по устройству, принципу действия и эксплуатации теплового насоса.

Теоретические основы

Трансформаторами теплоты называют технические системы, предназначенные для переноса тепловой энергии от источников с более низкой температурой к объектам с более высокой температурой.

Теплонасосные установки (ТНУ) – это трансформаторы теплоты, в которых осуществляется перенос тепловой энергии с более низкого температурного уровня, соответствующего температуре окружающей среды или превышающего его, на более высокий температурный уровень, превышающий температуру окружающей среды.

Среди всех теплонасосных установок (ТНУ) наибольшее распространение получили машины парокompрессионного типа благодаря своей безопасности, простоте эксплуатации и умеренным капитальным затратам. Согласно первому началу термодинамики, для переноса тепловой энергии на более высокий температурный уровень необходим подвод внешней энергии. В парокompрессионных ТНУ подводится электрическая энергия на привод компрессора.

Рассмотрим принцип работы простейшей одноступенчатой парокompрессионной ТНУ. Машина состоит из следующих основных элементов: испаритель И, компрессор КМ, конденсатор К, дроссельный вентиль ДВ и отделитель жидкости ОЖ (рис. 1).

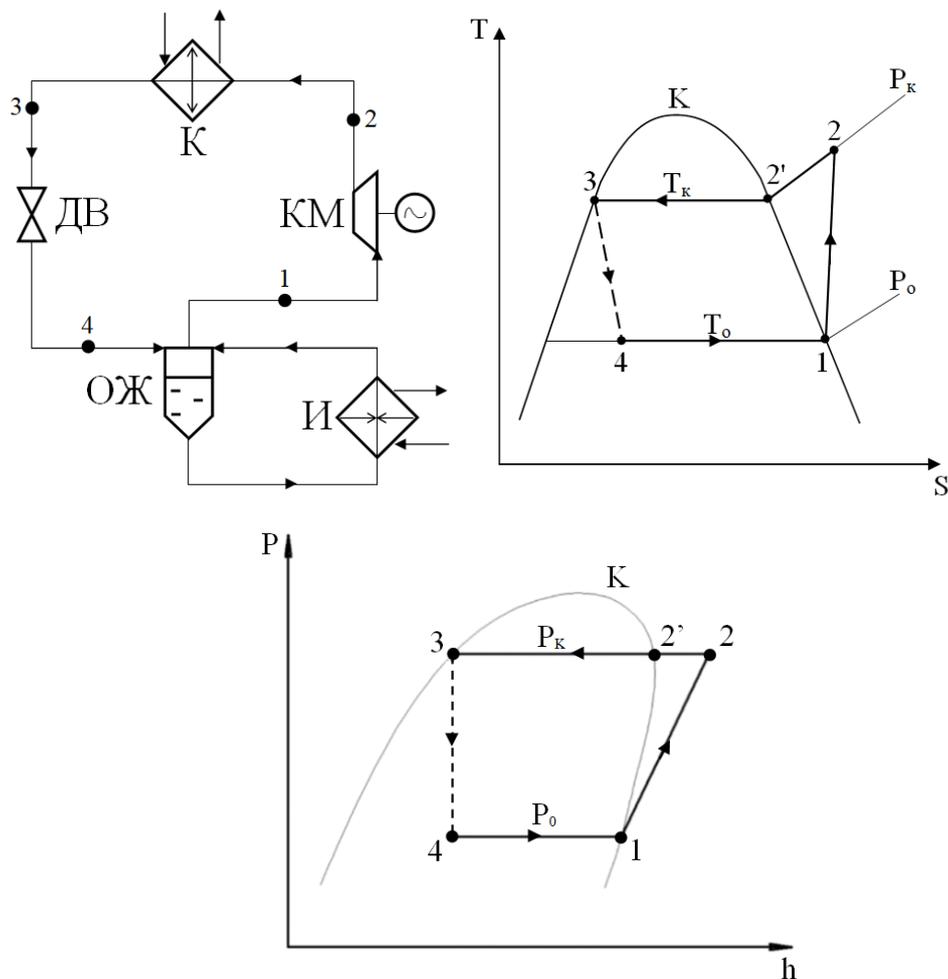


Рис. 1. Принципиальная схема одноступенчатой парокompрессионной ТНУ и цикл её работы в T-s-и P-h-диаграммах

В испаритель поступает теплоноситель низкого потенциала, отдавая свою теплоту легкокипящему рабочему агенту ТНУ, при этом происходит изобарно-изотермический процесс парообразования рабочего агента 4-1. Полученный пар, проходя через отделитель жидкости, выполняющего функцию сепарации паровой фазы от жидкой, поступает в компрессор, где политропно сжимается до более высокого давления P_k и нагревается (процесс 1-2). Сжатый пар рабочего агента направляется в конденсатор, где происходит изобарный процесс снятия перегрева 2-2' и изобарно-изотермический процесс конденсации 2'-3. Теплота, выделяемая при конденсации хладагента, передаётся теплоносителю высокого потенциала, который в дальнейшем используется в целях теплоснабжения. Образовавшийся конденсат поступает в дроссельный вентиль, где он

изоэнтальпно расширяется до давления P_0 (процесс 3-4), после чего рабочий агент, проходя через отделитель жидкости, возвращается в испаритель, и цикл повторяется.

Энергетический баланс парокомпрессионной теплонасосной установки на единицу расхода рабочего агента выглядит следующим образом:

$$l_i + q_0 = q_k, \quad (1.1)$$

где q_0 - удельная холодопроизводительность цикла;

$$q_0 = h_1 - h_4, \quad (1.2)$$

l_i - удельная внутренняя работа сжатия компрессора;

$$l_i = h_2 - h_1, \quad (1.3)$$

$l = \frac{l_i}{\eta_{эм}}$ - удельная внешняя работа сжатия, отнесенная к выводам

электродвигателя компрессора,

$\eta_{эм} = \eta_m \cdot \eta_э = 0,95 \div 0,98$ - электромеханический КПД компрессора;

q_k - удельная тепловая нагрузка конденсатора,

$$q_k = h_2 - h_3. \quad (1.4)$$

ТНУ находят все большее применение в децентрализованных системах теплоснабжения для покрытия тепловых нагрузок на отопление и ГВС. Главным преимуществом применения тепловых насосов состоит в экономии затрат энергии и топлива.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться со схемой установки (рис. 2).

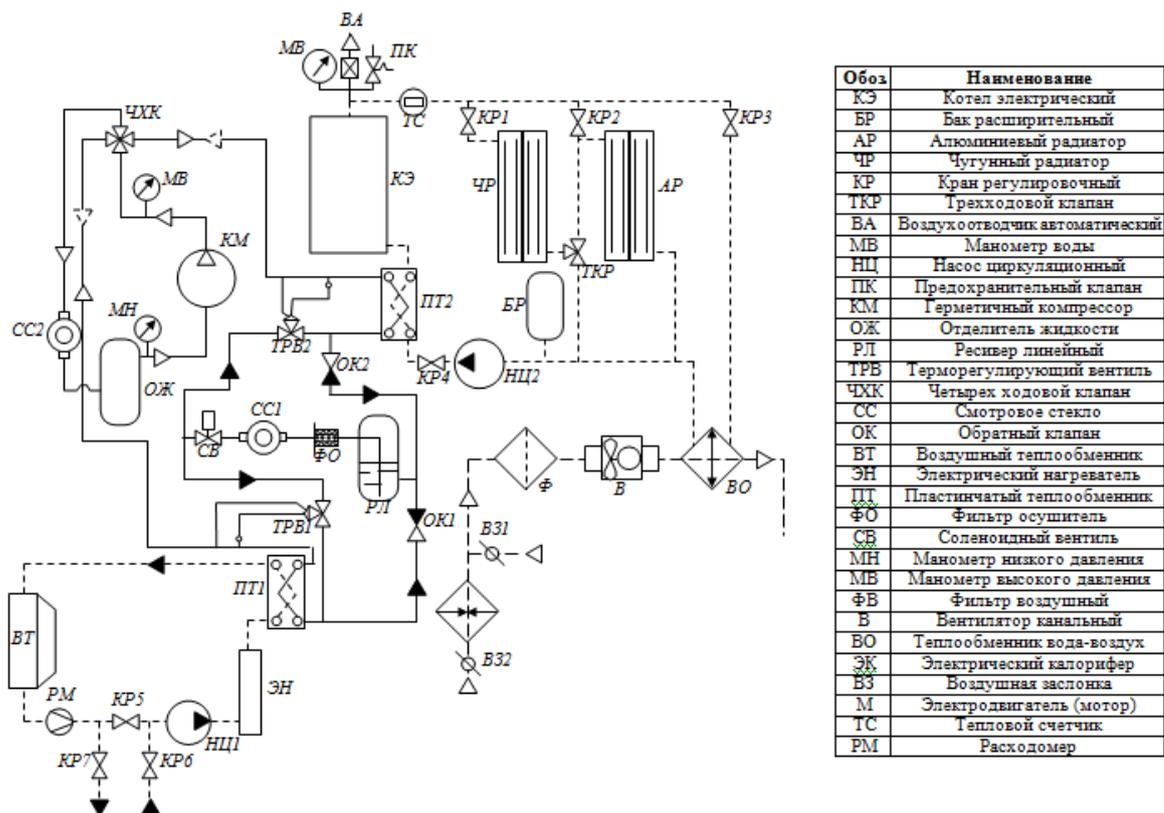


Рис.2. Принципиальная схема установки

2. Подключить стенд к электрической сети.
3. Подключить автоматизированный стенд к USB разьему компьютера.
4. Включить автомат питания АВ, «Сеть 220В».
5. Включить программу «Тепловой насос» (Пуск→ Программы → MeasLAB→«Тепловой насос»).
6. Открыть воздушные заслонки ВЗ1 и ВЗ2.
7. Открыть все регулировочные краны КР в контуре высокого потенциала. Ручку трехходового крана ТКР установить вверх (при этом проток через радиаторы будет параллельный).
8. Клавишей ВК5 включить циркуляционный насос НЦ2.
9. В низкотяпотенциальном контуре открыть кран КР5. Краны КР6 и КР7 должны быть закрыты, контур заправлен.
- 10.Клавишей ВК4 включить циркуляционный насос НЦ1.
- 11.Клавишей ВК3 включить вентилятор воздушного теплообменника ВТ и, вращая по часовой стрелке до крайнего положения ручку регулятора скорости РС1, установить максимальные обороты.

12. Ручку регулятора температуры (РТ) установить в положение 0°C.

13. Перевести тумблер в положение «Тепловой насос».

14. Клавишей ВК6 включить компрессор ТНУ.

Примечание. Для более быстрого выхода на режим обогрева с помощью теплового насоса можно кратковременно включить электрический котел.

Внимание! Температура конденсации фреона t_g не должна превышать значение 90°C. Если температура t_g будет приближаться к значению 90°C, необходимо включить канальный вентилятор (В) клавишей ВК1 и регулятором скорости РС2 стабилизировать температуру конденсации фреона не выше 90°C.

15. В установившемся режиме снять параметры и внести в табл.1.

16. Выключить установку в следующей последовательности: сначала ВК6 и ВК3, затем через 5÷10 мин ВК1, ВК4, ВК5 и автомат питания АВ, «Сеть 220В».

Таблица 1
Результаты измерений и вычислений

Измеряемые величины				Определяемые величины		
P_0 , бар	P_k , бар	t_0 , °C	t_k , °C	q_0 , кДж/кг	q_k , кДж/кг	l_i , кДж/кг

Таблица 2
Узловые точки цикла

№	T, К	P, бар	h, кДж/кг
1			
2			
3			
4			

Обработка результатов

1. По полученным измерениям с помощью P-h-диаграммы фреона R134a определить значения энтальпии рабочего агента в узловых точках цикла и занести их в табл. 2. Процесс сжатия фреона в поршневом компрессоре считать изоэнтропным.
2. Используя данные из табл. 2 и формулы (1.2), (1.3) и (1.4), определить удельную холодопроизводительность цикла q_0 , удельную тепловую нагрузку конденсатора q_k и удельную внутреннюю работу сжатия компрессора l_i .
3. Проверить правильность полученных значений по уравнению теплового баланса ТНУ (1.1).
4. Построить цикл работы ТНУ в T-s- и P-h-диаграммах на миллиметровке.
5. Сформулировать выводы.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип работы одноступенчатой парокompрессионной ТНУ?
2. Опишите цикл работы одноступенчатой парокompрессионной ТНУ в T-s- и P-h-диаграммах.
3. Что из себя представляет энергетический баланс одноступенчатой парокompрессионной ТНУ?
4. Чем отличается удельная внутренняя работа сжатия компрессора от внешней?
5. Какова область применения тепловых насосов?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Цель работы

Определение эффективности теплового насоса при работе в составе децентрализованных систем теплоснабжения.

Теоретические основы

Одним из основных показателей эффективности теплонасосной установки является *коэффициент трансформации* теплоты:

$$\varphi = \frac{q_k}{l}. \quad (2.1)$$

Коэффициент трансформации численно равен количеству единиц теплоты, получаемой в ТНУ на единицу затраченной электрической энергии. Данный показатель является безразмерной величиной, практически всегда больше единицы. Как правило, значения коэффициента трансформации для парокompрессионных теплонасосных установок находятся в пределах $\varphi = 3,0 \div 4,0$.

Любые реальные технические процессы, в том числе процессы трансформации тепла, протекают в условиях взаимодействия с окружающей средой. Анализ и оценка эффективности процессов преобразования энергии в трансформаторах теплоты должны проводиться с учётом влияния параметров окружающей среды. Такой метод термодинамического анализа называется *эксергетическим*.

Эксергия представляет собой часть энергии, которая может быть преобразована в максимальную полезную работу в результате ее обратимого перехода из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой. *Анергия* – это неработоспособная часть энергии, которая не может быть преобразована в полезную работу.

Для оценки эффективности систем трансформации теплоты при их термодинамическом анализе используют эксергетический КПД.

Эксергетический КПД – это отношение удельных затрат работы на единицу теплоты q_k , отданной теплоприемнику на температурном уровне T_6 в идеальном цикле, отнесенных к удельному расходу электрической энергии на единицу полученной теплоты.

Данный показатель может быть рассчитан следующим образом:

$$\eta_e = \frac{\mathcal{E}_B}{\mathcal{E}_{ТНУ}}, \quad (2.2)$$

где $\mathcal{E}_B = \frac{T_6 - T_H}{T_6} = 1 - \frac{T_H}{T_6}$ – удельные затраты работы в идеальном цикле, отнесенные к единице теплоты q_k , отданной теплоприемнику на температурном уровне T_6 . При $T_H = T_{o.c}$ величина $\mathcal{E}_B = \tau_q = 1 - \frac{T_{o.c}}{T_6}$, то есть удельная затрата эксергии в идеальном цикле равна коэффициенту работоспособности теплоты с температурой T_6 ,

$$\mathcal{E}_{ТНУ} = \frac{l}{q_k} = \frac{1}{\varphi} - \text{удельный расход электрической энергии на единицу}$$

полученной теплоты, величина, обратная коэффициенту трансформации установки.

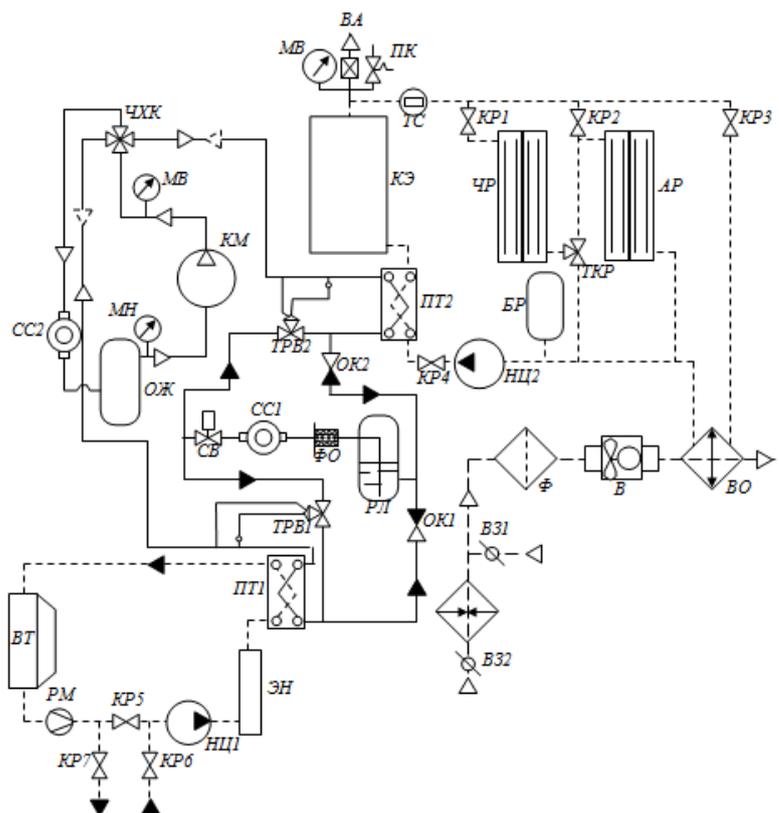
Таким образом, формула для расчета эксергетического КПД теплонасосной установки может быть преобразована следующим образом:

$$\eta_e = \frac{q_k}{l} \cdot \left(1 - \frac{T_H}{T_6}\right) = \varphi \cdot \left(1 - \frac{t_0 + 273}{t_k + 273}\right). \quad (2.3)$$

Эксергетический коэффициент полезного действия реальных ТНУ, характеризующий эффективность использования электрической энергии для трансформации теплоты, всегда меньше единицы. Как правило, его значения для парокомпрессионных ТНУ находятся в пределах $\eta_e = 0,25 \div 0,40$.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться со схемой установки (рис. 3).



Обоз	Наименование
КЭ	Котел электрический
БР	Бак расширительный
АР	Алюминиевый радиатор
ЧР	Чугунный радиатор
КР	Кран регулировочный
ТКР	Трехходовой клапан
ВА	Воздухоотводчик автоматический
МВ	Манометр воды
НЦ	Насос циркуляционный
ПК	Предохранительный клапан
КМ	Герметичный компрессор
ОЖ	Отделитель жидкости
РЛ	Ресивер линейный
ТРВ	Терморегулирующий вентиль
ЧХК	Четырех ходовой клапан
СС	Смотровое стекло
ОК	Обратный клапан
ВТ	Воздушный теплообменник
ЭН	Электрический нагреватель
ПТ	Пластичатый теплообменник
ФО	Фильтр осушитель
СВ	Соленоидный вентиль
МН	Манометр низкого давления
МВ	Манометр высокого давления
ФВ	Фильтр воздушный
В	Вентильатор канальный
ВО	Теплообменник вода-воздух
ЭК	Электрический калорифер
ВЗ	Воздушная заслонка
М	Электродвигатель (мотор)
ТС	Тепловой счетчик
РМ	Расходомер

Рис.3. Принципиальная схема установки

2. Подключить стенд к электрической сети.
3. Подключить автоматизированный стенд к USB разьему компьютера.
4. Включить автомат питания АВ, «Сеть 220В».
5. Включить программу «Тепловой насос» (Пуск→ Программы → MeasLAB→«Тепловой насос»).
6. Открыть воздушные заслонки В31 и В32.
7. Открыть все регулировочные краны КР в контуре высокого потенциала. Ручку трехходового крана ТКР установить вверх (при этом проток через радиаторы будет параллельный).
8. Клавишей ВК5 включить циркуляционный насос НЦ2.
9. В низкотятенциальном контуре открыть кран КР5. Краны КР6 и КР7 должны быть закрыты, контур заправлен.
- 10.Клавишей ВК4 включить циркуляционный насос НЦ1.

- 11.Клавишей ВК3 включить вентилятор воздушного теплообменника ВТ и, вращая по часовой стрелке до крайнего положения ручку регулятора скорости РС1, установить максимальные обороты.
- 12.Ручку регулятора температуры (РТ) установить в положение 0°C.
- 13.Перевести тумблер в положение «Тепловой насос».
- 14.Клавишей ВК6 включить компрессор ТНУ.
- 15.Добиться повышения температуры в контуре высокого потенциала ($t_1 = 50 \div 60^\circ\text{C}$).

Примечание. Для более быстрого выхода на режим обогрева с помощью теплового насоса можно кратковременно включить электрический котел.

Внимание! Температура конденсации фреона t_8 не должна превышать значение 90°C. Если температура t_8 будет приближаться к значению 90°C, необходимо включить канальный вентилятор (В) клавишей ВК1 и регулятором скорости РС2 стабилизировать температуру конденсации фреона не выше 90°C.

- 16.В установившемся режиме измерить параметры на экране компьютера и занести их в табл. 3.
- 17.Выключить установку в следующей последовательности: сначала ВК6 и ВК3, затем через 5÷10 мин ВК1, ВК4, ВК5 и автомат питания АВ «Сеть 220В».

Обработка результатов

1. По полученным измерениям с помощью P-h–диаграммы фреона R134a определить значения энтальпии рабочего агента в узловых точках цикла и занести их в табл. 3. Процесс сжатия фреона в поршневом компрессоре считать изоэнтропным.
2. Используя данные из табл. 3 и формулы (1.2), (1.3) и (1.4), определить удельную холодопроизводительность цикла q_0 , удельную тепловую нагрузку конденсатора q_k и удельную внутреннюю и внешнюю работу сжатия компрессора l_i и l .
3. Проверить правильность полученных значений по уравнению теплового баланса ТНУ (1.1).
4. Используя формулы (2.1) и (2.3) определить значения коэффициента трансформации и эксергетического КПД.
5. По полученным результатам построить графики зависимостей $\varphi = f(\tau_1)$ и $\eta_e = f(\varphi)$.
6. Сформулировать выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент трансформации ТНУ и каков его физический смысл?
2. Что такое эксергия и анергия?
3. Что такое эксергетический коэффициент полезного действия ТНУ и каков его физический смысл?
4. Описать и проанализировать полученные зависимости $\varphi = f(\tau_1)$ и $\eta_e = f(\varphi)$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Цель работы

Определение тепловой мощности теплового насоса.

Теоретические основы

Тепловая мощность ТНУ – это то количество теплоты, которое передает тепловой насос в процессе работы высокопотенциальному источнику – теплоносителю, который циркулирует в системе отопления.

Тепловая мощность ТНУ может быть определена по тепловому счетчику в системе отопления или расчетным способом при помощи уравнения теплового баланса конденсатора:

$$Q_k = G_T \cdot c_p \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (3.1)$$

где $G_T = L_1 \cdot \rho$ - массовый расход теплоносителя в системе отопления, кг/с;

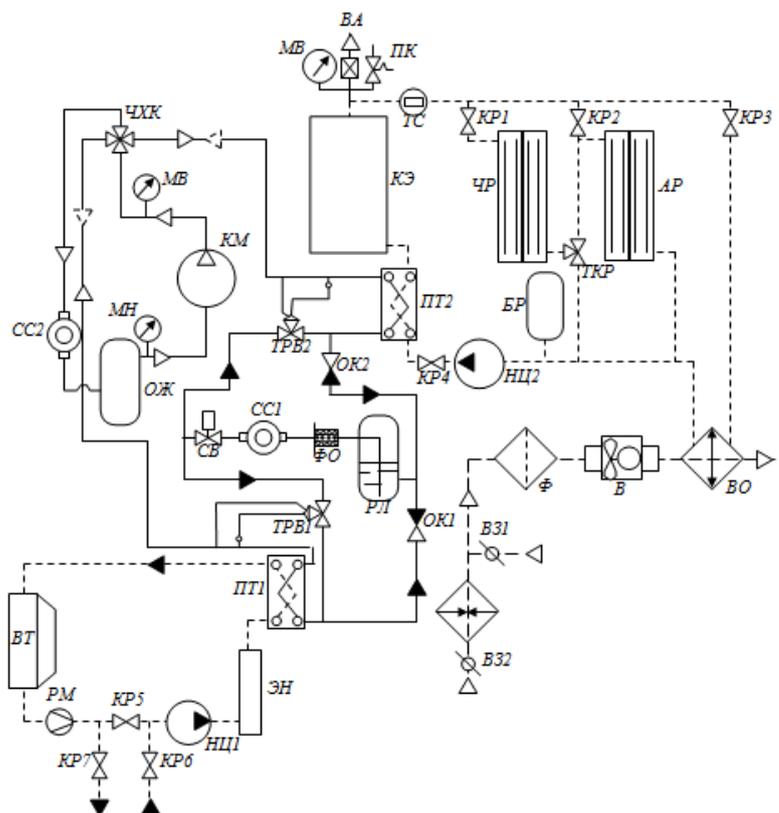
L_1 - объемный расход теплоносителя в системе отопления, м³/с;

c_p – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);

ρ - плотность теплоносителя, кг/м³.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться со схемой установки (рис. 4).



Обоз	Наименование
КЭ	Котел электрический
БР	Бак расширительный
АР	Алюминиевый радиатор
ЧР	Чугунный радиатор
КР	Кран регулировочный
ТКР	Трехходовой клапан
ВА	Воздухоотводчик автоматический
МВ	Манометр воды
НЦ	Насос циркуляционный
ПК	Предохранительный клапан
КМ	Герметичный компрессор
ОЖ	Отделитель жидкости
РЛ	Ресивер линейный
ТРВ	Терморегулирующий вентиль
ЧХК	Четырех ходовой клапан
СС	Смотровое стекло
ОК	Обратный клапан
ВТ	Воздушный теплообменник
ЭН	Электрический нагреватель
ПТ	Пластичатый теплообменник
ФО	Фильтр осушитель
СВ	Соленоидный вентиль
МН	Манометр низкого давления
МВ	Манометр высокого давления
ФВ	Фильтр воздушный
В	Вентилятор канальный
ВО	Теплообменник вода-воздух
ЭК	Электрический калорифер
ВЗ	Воздушная заслонка
М	Электродвигатель (мотор)
ТС	Тепловой счетчик
РМ	Расходомер

Рис.4. Принципиальная схема установки

2. Подключить стенд к электрической сети.
3. Подключить автоматизированный стенд к USB разьему компьютера.
4. Включить автомат питания АВ, «Сеть 220В».
5. Включить программу «Тепловой насос» (Пуск→ Программы → MeasLAB→«Тепловой насос»).
6. Открыть воздушные заслонки В31 и В32.
7. Открыть все регулировочные краны КР в контуре высокого потенциала. Ручку трехходового крана ТКР установить вверх (при этом проток через радиаторы будет параллельный).
8. Клавишей ВК5 включить циркуляционный насос НЦ2.
9. В низкопотенциальном контуре открыть кран КР5. Краны КР6 и КР7 должны быть закрыты, контур заправлен.
- 10.Клавишей ВК4 включить циркуляционный насос НЦ1.

11. Клавишей ВК3 включить вентилятор воздушного теплообменника ВТ и, вращая по часовой стрелке до крайнего положения ручку регулятора скорости РС1, установить максимальные обороты.
12. Ручку регулятора температуры (РТ) установить в положение 0°C.
13. Перевести тумблер в положение «Тепловой насос».
14. Клавишей ВК6 включить компрессор ТНУ.

Примечание. Для более быстрого выхода на режим обогрева с помощью теплового насоса можно кратковременно включить электрический котел.

Внимание! Температура конденсации фреона t_g не должна превышать значение 90°C. Если температура t_g будет приближаться к значению 90°C, необходимо включить канальный вентилятор (В) клавишей ВК1 и регулятором скорости РС2 стабилизировать температуру конденсации фреона не выше 90°C.

15. В установившемся режиме измерить параметры на экране компьютера и занести их в табл. 4.
16. Выключить установку в следующей последовательности: сначала ВК6 и ВК3, затем через 5÷10 мин ВК1, ВК4, ВК5 и автомат питания АВ «Сеть 220В».

Таблица 4

Результаты измерений и расчетов

№ п/п	$\tau_1, ^\circ\text{C}$	$\tau_2, ^\circ\text{C}$	$L_1, \text{л/ч}$	$G_T, \text{кг/с}$	$Q_K, \text{Вт}$
1					
2					
3					
4					
5					

Обработка результатов

1. Определить значения массовых расходов G_T по формуле (3.2) и значения тепловых нагрузок конденсатора Q_K по формуле (3.1).

$$G_T = \frac{0,001 \cdot L_1}{3600} \cdot \rho, \text{ кг/с} \quad (3.2)$$

2. Построить график зависимости $Q_K = f(\tau_1)$.
3. Сформулировать выводы

Контрольные вопросы

1. Что такое тепловая мощность теплового насоса?
2. Каким образом может быть определена тепловая мощность ТНУ?
3. Описать и проанализировать зависимость $Q_K = f(\tau_1)$.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы

Изучение устройства и принципа работы холодильной установки

Теоретические основы

Рассмотрим принцип работы простейшей одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины. Холодильная машина состоит из тех же основных элементов, что и ТНУ: испаритель И, компрессор КМ, конденсатор К, дроссельный вентиль ДВ и отделитель жидкости ОЖ (рис. 5).

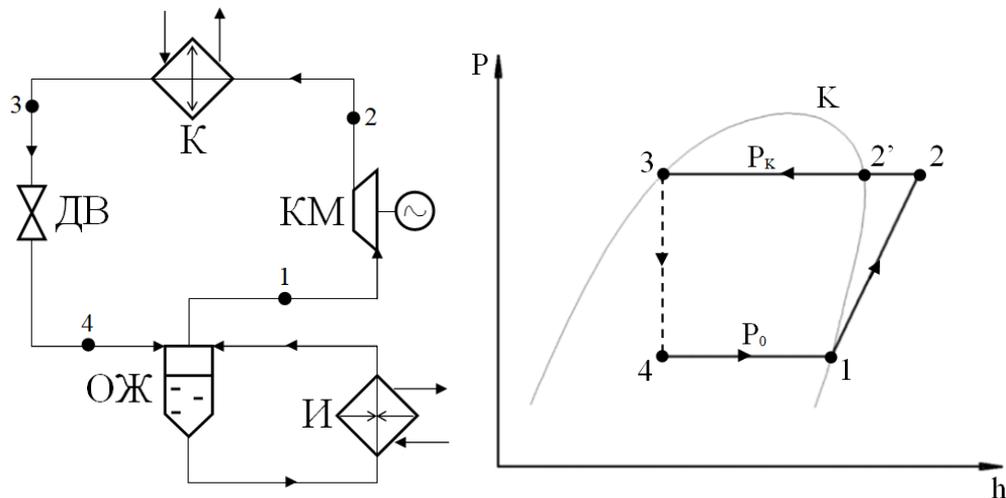


Рис. 5. Принципиальная схема и цикл работы холодильной установки в P-h-диаграмме

В испаритель поступает теплоноситель низкого потенциала, отдавая свою теплоту легкокипящему рабочему агенту ТНУ, при этом происходит изобарно-изотермический процесс парообразования рабочего агента 4-1. Полученный пар, проходя через отделитель жидкости, выполняющего функцию сепарации паровой фазы от жидкой, поступает в компрессор, где политропно сжимается до более высокого давления P_k и нагревается (процесс 1-2). Сжатый пар рабочего агента направляется в конденсатор, где происходит изобарный процесс снятия перегрева 2-2' и изобарно-изотермический процесс конденсации 2'-3. Теплота, выделяемая при

конденсации хладагента, передаётся теплоносителю высокого потенциала. Образовавшийся конденсат поступает в дроссельный вентиль, где он изоэнтальпно расширяется до давления P_0 (процесс 3-4), после чего рабочий агент, проходя через отделитель жидкости, возвращается в испаритель, и цикл повторяется.

Энергетический баланс парокомпрессионной холодильной установки на единицу расхода рабочего агента выглядит следующим образом:

$$l_i + q_0 = q_k, \quad (4.1)$$

где q_0 - удельная холодопроизводительность цикла;

$$q_0 = h_1 - h_4, \quad (4.2)$$

l_i - удельная внутренняя работа сжатия компрессора;

$$l_i = h_2 - h_1, \quad (4.3)$$

$l = \frac{l_i}{\eta_{эм}}$ - удельная внешняя работа сжатия, отнесенная к выводам

электродвигателя компрессора,

$\eta_{эм} = \eta_m \cdot \eta_э = 0,95 \div 0,98$ - электромеханический КПД компрессора;

q_k - удельная тепловая нагрузка конденсатора,

$$q_k = h_2 - h_3. \quad (4.4)$$

Основным показателем эффективности работы холодильной установки является *холодильный коэффициент*, представляющий собой отношение удельной холодопроизводительности цикла к удельной внешней работе сжатия компрессора:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l}. \quad (4.5)$$

Величина холодильного коэффициента численно равна количеству единиц холода, вырабатываемых в установке на единицу затраченной электроэнергии. Для парокомпрессионных холодильных установок коэффициент ε обычно находится в пределах $\varepsilon = 0,8 \div 2,5$.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться со схемой установки (рис. 6).

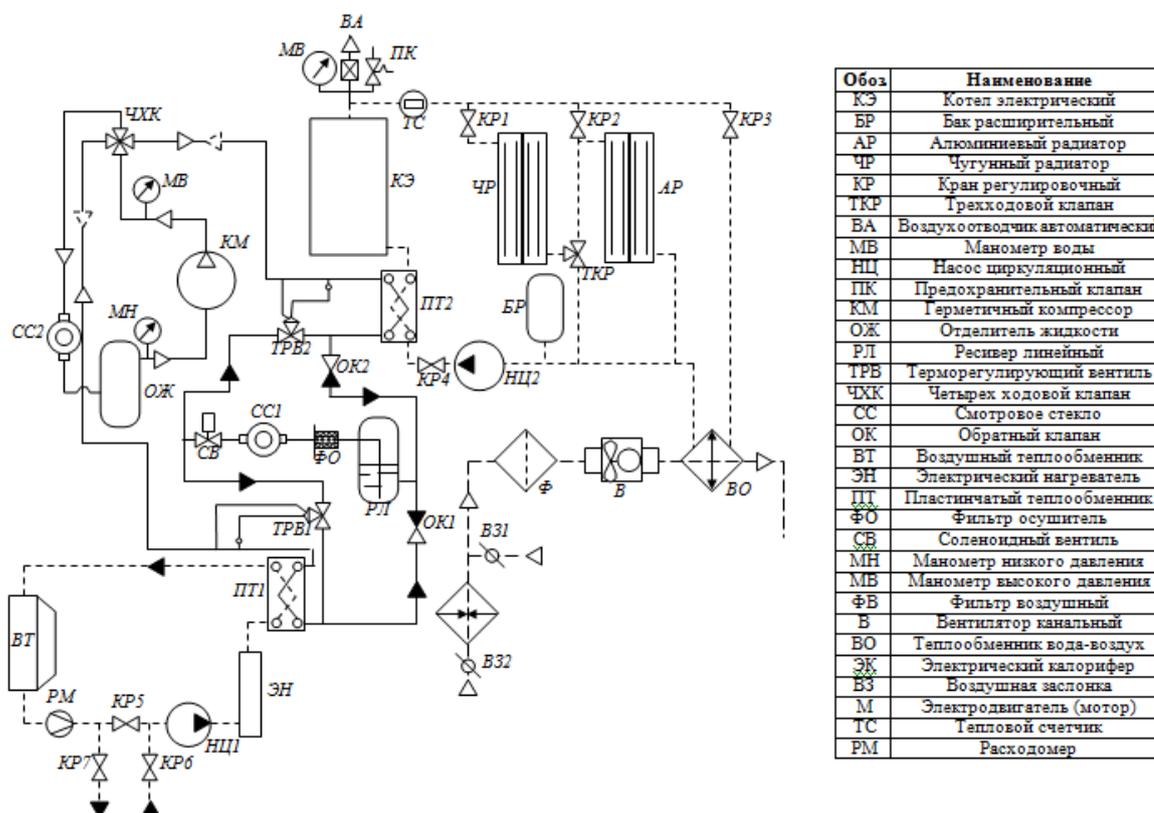


Рис. 6. Принципиальная схема установки

2. Подключить стенд к электрической сети.
3. Подключить автоматизированный стенд к USB разьему компьютера.
4. Включить автомат питания АВ, «Сеть 220В».
5. Включить программу «Тепловой насос» (Пуск→ Программы → MeasLAB→«Тепловой насос»).
6. Открыть регулировочные краны КР3 и КР4, закрыть КР1 и КР2.
7. Клавишей ВК5 включить циркуляционный насос НЦ2.
8. В низкотяенциальном контуре открыть кран КР5. Краны КР6 и КР7 должны быть закрыты, контур заправлен.
9. Клавишей ВК4 включить циркуляционный насос НЦ1. Повернуть ручку регулятора нагрева РН1 против часовой стрелки в положение «Откл», тем самым выключить (или убедиться, что нагрев в контуре выключен).
10. Клавишей ВК3 включить вентилятор воздушного теплообменника ВТ и, вращая по часовой стрелке до крайнего положения ручку регулятора скорости РС1, установить максимальные обороты.

11. Клавишей ВК1 включить канальный вентилятор (В) и, вращая ручку регулятора скорости РС2 по часовой стрелке, установить ее положение напротив индикаторной лампочки.
12. Открыть воздушную заслонку В32. Закрыть В31.
13. Клавишей ВК2 включить калорифер (ЭК) и, вращая ручку регулятора нагрева по часовой стрелке, установить ее в положение «7».
14. Вращая ручку регулятора температуры (РТ) установить температуру 20°C.
15. Перевести тумблер в положение «Охлаждение».
16. Клавишей ВК6 включить компрессор холодильной установки.
17. В установившемся режиме измерить параметры на экране компьютера и занести их в табл. 5.
18. Выключить установку в следующей последовательности: сначала ВК6 и ВК3, затем через 5÷10 мин ВК1, ВК4, ВК5 и автомат питания АВ «Сеть 220В».

Обработка результатов

1. По полученным измерениям с помощью Р-h–диаграммы фреона R134a определить значения энтальпии рабочего агента в узловых точках цикла и занести их в табл. 5. Процесс сжатия фреона в поршневом компрессоре считать изоэнтропным.
2. Используя данные из табл. 5 и формулы (4.2), (4.3) и (4.4), определить удельную холодопроизводительность цикла q_0 , удельную тепловую нагрузку конденсатора q_k и удельную внутреннюю и внешнюю работу сжатия компрессора l_i и l_e .
3. Проверить правильность полученных значений по уравнению теплового баланса холодильной установки (4.1).

4. Используя формулу (4.4), определить значения холодильного коэффициента.
5. По полученным результатам построить график зависимости $\varepsilon = f(\tau_{\text{хол}})$.
6. Сформулировать выводы.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия холодильной установки?
2. В чем заключается принципиальное отличие холодильной установки от теплонасосной?
3. Что такое холодильный коэффициент?
4. Описать и проанализировать зависимость $\varepsilon = f(\tau_{\text{хол}})$.

Библиографический список

1. Бэр Г.Д. Техническая термодинамика: учеб.пособие для вузов – М.: Мир, 1977.
2. Луканин П.В. Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители): учебное пособие;СПбГТУРП. СПб., 2009.
3. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации теплоты и процессов охлаждения: учеб.пособие для вузов. – 2-е изд., перераб.-М.: Энергоиздат, 1981.

Содержание

Лабораторная работа №1.	3
Лабораторная работа №2.	9
Лабораторная работа №3.	15
Лабораторная работа №4.	19
Библиографический список.....	24