

УДК 677.693:662.995:536.8

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МАЛОЭТАЖНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ СТРОЕНИЯХ**

**THE THERMODYNAMIC EFFICIENCY
OF THE AIR HEAT PUMPS
USED IN LOW-RISE TEXTILE STRUCTURES**

Р.М. АЛОЯН, В.Н. ФЕДОСЕЕВ, Н.В. ВИНОГРАДОВА, В.М. ТКАЧЕВ, В.А. ЕМЕЛИН
R.M. ALOYAN, V.N. FEDOSEEV, N.V. VINOGRADOVA, V.M. TKACHEV, V.A. EMELIN

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: 4932421318@mail.ru

В статье рассмотрена работа тепловых насосов малой мощности для определения взаимосвязи термодинамических параметров новых исследуемых хладагентов, которые являются близкими по физико-химическим и эксплуатационным свойствам к характеристикам озоноразрушающих ве-

ществ. Принцип работы такого воздушного теплового насоса (ВТН) заключается в использовании низкопотенциальной тепловой энергии, что определенным образом ограничивает эксплуатацию устройства внешними факторами. Производительность ВТН напрямую связана с температурой окружающей среды, что является главной особенностью применения таких насосов в любом регионе России. Работоспособная температура обычного воздушного теплового насоса типа "воздух - вода" не ниже -10°C, но когда значение падает ниже этой нормы, работоспособность оборудования резко снижается. Чтобы справиться с этой проблемой, предлагается рассматривать принцип работы ВТН типа "воздух - вода" совместно с дополнительными источниками тепла.

In this article researches of work of heat pumps of low power are carried out. To determine the relationship of thermodynamic parameters, new studied refrigerants are selected, which are similar in physical, chemical and operational properties to the characteristics of ozone-depleting substances. The principle of operation of an air heat pump is to use low-grade thermal energy, which in some way restricts the operation of the device by external factors. Its productivity is directly related to the ambient temperature - this is the main feature of their application in any region of Russia. The working temperature of a conventional air heat pump type "air-water" is not lower than -10°C. When the value falls below this norm, the performance of the equipment is sharply reduced. To cope with this problem, it is proposed to consider the principle of operation of VTN type "air - water" in conjunction with additional sources of heat.

Ключевые слова: воздушный тепловой насос, электрический насос, коэффициент эффективности, источник низкопотенциального тепла, хладагент, степень термодинамического совершенства, озоноразрушающие вещества.

Keywords: air heat pump, electric pump, efficiency factor, low-grade heat source, refrigerant, the degree of thermodynamic perfection, ozone-depleting substances.

На современном уровне развития науки и общества проблема использования в тепловых насосах хладагентов, не влияющих на озоновый слой и на глобальное потепление (Потенциал глобального потепления – Global warming potential, GWP), является актуальной.

В начале 90-х гг. XX в. в России был выполнен большой объем работ по переводу промышленности на новый класс химических соединений взамен озоноразрушающих веществ (ОРВ).

Была предложена номенклатура новых хладагентов: R-152, R-125, R-32 и др. Главным показателем выбора заменителей ОРВ является близость физико-хими-

ческих и эксплуатационных свойств к характеристикам ОРВ.

Для определения взаимосвязи термодинамических параметров исследуемых хладагентов: T – температура, К; v – молярный объем, м³/кмоль; C_p – теплоемкость; H – энтальпия; S – энтропия, обычно применяют уравнение Пенга-Робинсона:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b) + b(v-b)}, \quad (1)$$

где P – давление, МПа; $R = 0,0083144$ МПа·м³/кмоль·К – универсальная газовая постоянная.

Условный коэффициент полезного действия (КПД) теплового насоса при выполнении расчета принципиально больше 1, однако работа теплового насоса полностью подчиняется закону сохранения энергии. Подобный расчет просто не учитывает "источник энергии" кроме потребляемого электричества. Таким источником в нашем случае является присутствие "рассеянного" тепла в воздухе, который нагрет солнцем. В связи с этим расчет теоретического коэффициента преобразования (COP) идеального теплового насоса принято вычислять либо по формуле Карно, либо с помощью построения термодинамических диаграмм $i-lgP$ (удельная энтальпия – давление) хладагентов, как наиболее близкой к идеальному значению при последующих тепловых расчетах. Электроэнергия в устройстве не тратится непосредственно на нагрев, а тратится на "концентрацию – уплотнение" энергии источника низкопотенциального тепла, обеспечивая энергией работу компрессора. В этом случае тепловой насос имеет два источника энергии – электричество и источник низкопотенциального тепла. К сказанному следует добавить, что расчеты (условно принятые) не учитывают второй источник "рассеянного" тепла и поэтому значения получаются больше единицы. В этом идеальном случае теоретически правильный расчет КПД теплового насоса, как потребителя, будет:

$$\text{КПД} = \frac{P_{\text{потреб}}}{P_{\text{эл.сети}} + P_{\text{ист.н-пот.тепла}}} \quad (2)$$

Если тепловой насос потребляет из электрической сети 1кВт, а отдает потребителю 4 кВт и забирает из низкопотенциального источника, например 5кВт, то:

$$\frac{P_{\text{потреб}}}{P_{\text{эл.сети}} + P_{\text{ист.н-пот.тепла}}} = \frac{4}{1 + 5} = 0,67.$$

Оценить, сколько тепловой насос переносит тепла из источника низкопотенциального тепла (из воздуха), хотя бы приблизительно, достаточно трудоемко в силу

специфики состояния воздуха, что и приводит при расчетах к ошибке.

Во избежание путаницы (и ошибок) был введен коэффициент эффективности (COP), и степень термодинамического совершенства h . COP показывает, во сколько раз тепловая энергия, переданная потребителю, превышает количество и качество работы, необходимой для переноса тепла от низкопотенциального источника, а степень термодинамического совершенства показывает, насколько реальный тепловой цикл теплового насоса приближен к идеальному циклу. Итак, реальный коэффициент трансформации отличается от идеального на величину коэффициента h , учитывающего степень термодинамического совершенства и необратимые потери при реализации цикла.

В общем случае степень термодинамического совершенства h теплоносных систем теплоснабжения зависит от многих параметров, таких как: мощность компрессора, качество производства комплектующих теплового насоса и необратимых энергетических потерь, которые в свою очередь включают:

- потери тепловой энергии в соединительных трубопроводах;
- потери на преодоление трения в компрессоре;
- потери, связанные с неидеальностью тепловых процессов, протекающих в испарителе и конденсаторе, а также с неидеальностью теплофизических характеристик хладагентов.

Все недостатки эксплуатации тепловых насосов типа "воздух - вода" в основном сводятся именно к зависимости от внешних факторов. Это можно учесть при выборе модели, обращая внимание на параметр, указывающий нижний предел температуры для сохранения работоспособности ВТН.

ВЫВОДЫ

Термодинамические характеристики рабочих веществ влияют главным образом на температурный режим работы и условия, в которых работает ВТН. В конечном

итоге все это сказывается на общей энергетической эффективности ВТН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Зайцева И.А., Иродова М.Р. Рациональное использование соотношений электротарифов для автономных текстильных строений в режиме теплоснабжения электрокотлом // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С.235...242.

2. Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Емелин В.А., Воронов В.А., Зайцева И.А. Энергоэффективность рабочего тела (хладона) воздушного теплового насоса в режиме обогрева автономного текстильного цеха (производства) // Сб. научн. тр.: Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. – Иваново, 2016. С. 186...194.

3. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Воронов В.А., Емелин В.А. Анализ энергоэффективности воздушного теплового насоса и электрокотла в условиях текстильного и швейного производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4. С. 5...12.

4. Алоян Р.М., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н. Возможность внедрения экологической и энергосберегающей технологии в текстильной энергетике // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 2. С. 188...192.

5. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А. Сравнительная эффективность теплоотдачи современных видов отопления в малоэтажных текстильных строениях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №3. С.237...240.

6. Peng D.Y., Robinson D.B. A new two - constant equation of state // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. – Vol. 15, 1976. P.59...64.

REFERENCES

1. Alojjan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Zajceva I.A., Irodova M.R. Racional'noe ispol'zovanie sootnoshenij jelektrotarifov dlja avtonomnyh tekstil'nyh stroenij v rezhime teplosnabzhenija jelektrokotlom // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017, № 4. S.235...242.

2. Fedoseev V.N., Petruhin A.B., Emelin V.A., Voronov V.A., Zajceva I.A. Jenergojeffektivnost' rabocheho tela (hladona) vozdušnogo teplovogo nasosa v rezhime obogreva avtonomnogo tekstil'nogo ceha (proizvodstva) // Sb. nauchn. tr.: Teorija i praktika tehničkih, organizacionno-tehnologičeskikh i jekonomičeskikh reshenij. – Ivanovo, 2016. S.186...194.

3. Alojjan R.M., Petruhin A.B., Fedoseev V.N., Zajceva I.A., Voronov V.A., Emelin V.A. Analiz jenergojeffektivnosti vozdušnogo teplovogo nasosa i jelektrokotla v uslovijah tekstil'nogo i shvejnogo proizvodstva // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 4. S. 5...12.

4. Alojjan R.M., Petruhin A.B., Fedoseev V.N. Vozmožnost' vnedrenija jekologičeskoj i jenergosberegajushhej tehnologij v tekstil'noj jenergetike // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 2. S. 188...192.

5. Alojjan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Voronov V.A. Sravnitel'naja jeffektivnost' teplootdachi sovremennyh vidov otoplenija v malojetaznyh tekstil'nyh stroenijah // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017, №3. S.237...240.

6. Peng D.Y., Robinson D.B. A new two - constant equation of state // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. – Vol. 15, 1976. P.59...64.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 12.10.17.