

УДК 621.657.003

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ  
В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ***Б.С.САЖИН, М.П.ТЮРИН**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)*

Основную долю тепловых потерь на предприятиях химической и текстильной промышленности с учетом теплоты дымовых газов для предприятий, имеющих собственные котельные, составляют так называемые низкотемпературные тепловые отходы с температурой теплоносителя ниже 300°C. Тепловые отходы от теплотехнологического оборудования в основном не превышают 100°C. К ним относятся: паровоздушная смесь (ПВС) от различного рода сушильного оборудования, зрельников, выпарных и запарных установок, а также сбросные растворы от красильного оборудования, промывных машин, ректификационных и других агрегатов.

С точки зрения утилизации теплоты такого температурного уровня, все тепловые побочные энергетические ресурсы (ПЭР) можно разделить на две группы: тепловые ПЭР с температурой  $t > 50^\circ\text{C}$  и тепловые ПЭР с температурой  $t < 50^\circ\text{C}$ .

Первая группа тепловых ПЭР обычно утилизируется с помощью различного рода теплообменной аппаратуры.

Вторая группа тепловых ПЭР (имеющих температуру ниже 50°C) в настоящее время не находит широкого применения. Использование этих отходов с помощью теплообменных аппаратов далеко не всегда оказывается рентабельным. В этом случае экономический эффект от использования тепловых ПЭР может быть получен с помощью тепловых насосов, повышающих тепловой потенциал теплоносителя до такого уровня, при котором стано-

вится возможным его использование в соответствующих теплотехнологических установках.

Анализ сферы создания и использования теплонасосных установок показал, что большинство отечественных разработок направлено на обеспечение теплотой коммунально-бытового сектора и значительно меньше на утилизацию тепловых отходов для технологических нужд промышленных предприятий.

За рубежом наиболее широкое распространение получили теплонасосные установки (ТНУ) небольшой единичной мощности (3...5кВт) для круглогодичного кондиционирования воздуха в индивидуальных помещениях и коттеджах. При этом в качестве низкопотенциальной теплоты в них в основном используется наружный воздух. Существуют и более мощные ТНУ (30...250кВт), работающие по схеме вода-вода.

Для технологических процессов в промышленности также широко используются различные системы ТНУ мощностью от 200 до 300кВт, применяющиеся в основном для процессов сушки, в выпарных установках и для взаимной передачи теплоты в одном или двух технологических процессах; при этом температура нагреваемого теплоносителя достигает 110...120°C. Экономия теплоты благодаря использованию ТНУ в составе сушильных установок может достигать 70%.

Широко используются за рубежом и тепловые насосы, выполненные по схеме

вода–вода и предназначенные для утилизации сбросной теплоты в промышленности. Они имеют значение коэффициента преобразования в диапазоне от 3 до 6 [1]. Осредненная величина коэффициента преобразования  $\varphi$  по многим установкам составляет 4,5 [2]. Такие ТНУ применяются на различных предприятиях Европы и Америки и позволяют получить температуру выше 100°C при нагреве рабочих тел до 110°C и в испарительных процессах – до 125°C.

В текстильной и химической отраслях промышленности большинство технологических процессов в качестве конечного теплоносителя используют горячую воду в температурном интервале 60÷100°C и нагретый воздух 100÷120°C и применение ТНУ в данном случае представляется достаточно перспективным.

Использование в качестве холодного источника теплоты побочных тепловых энергоресурсов с температурой 50°C и более повышает температуру  $t_{и}$  в испарителе, увеличивая тем самым эксергетический КПД  $\eta_e$  и коэффициент преобразования  $\varphi$ , который для идеального цикла определяется с помощью выражения

$$\varphi_{ид} = T_{к} / (T_{к} - T_{и}). \quad (1)$$

Однако для реальных тепловых насосных установок действительный коэффициент преобразования в 2...3 раза меньше вследствие внутренних и внешних необратимых потерь в установке. Значение реального коэффициента преобразования можно определить по формуле В.С. Мартыновского и Л.З. Мельцера:

$$\varphi = 0,74 \frac{T_{и}}{(T_{к} - T_{и})} - 0,0032 T_{и} - 0,765 \frac{T_{и}}{T_{к}} + 0,95, \quad (2)$$

где  $T_{и}$  – температура в испарителе.

Эту формулу следует применять для тех рабочих веществ, критическая температура которых существенно выше температуры конденсации в выбранном цикле.

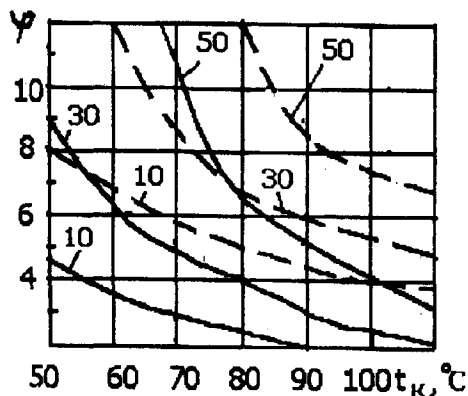


Рис. 1

На рис.1 представлены значения идеального и реального, полученных по формуле (1), коэффициентов преобразования. Здесь пунктирными линиями показаны зависимости идеального, сплошными – реального коэффициента преобразования при  $t_{и}$ , равной 10, 30 и 50°C.

Экономическая эффективность использования теплонасосных установок во многом определяется непрерывностью их работы и числом часов работы в год, увеличиваясь с ростом последних.

Наиболее эффективно круглогодичное использование ТНУ как с целью получения холода для систем кондиционирования в летнее время, так и теплоты для технологических нужд и потребностей отопления в зимнее время.

Возможно применение ТНУ и для одновременной выработки теплоты и холода для технологических нужд предприятия. В этом случае эксергетический КПД следует определять по соотношению

$$\eta = (E_{qг} + E_{qх}) / l, \quad (3)$$

где  $E_{qг}$ ,  $E_{qх}$  – соответственно эксергетические тепло- и холодопроизводительности;  $l$  – работа цикла.

С учетом наличия на текстильных предприятиях производств со значительными тепловыделениями и необходимостью поддержания в них требуемых параметров микроклимата имеются широкие возможности использования ТНУ в системах кондиционирования воздуха в теплое время года и в системах отопления – в зимнее. Однако использование теплонасосных установок с целью отопления решается не всегда однозначно. На предпри-

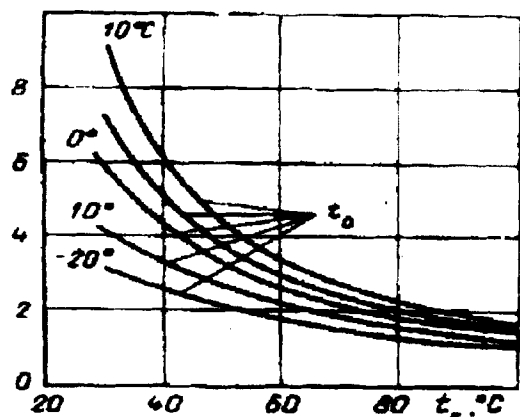


Рис. 2

Эффективность использования теплонасосных установок в системах кондиционирования воздуха и в системах отопления можно оценить по коэффициенту преобразования, полученному по формуле (2) (рис.2), либо по эксергетическому КПД, рассчитанному по формуле из [3], и справедливой с погрешностью до 5% в диапазоне температур кипения от  $-10$  до  $+10$ °С:

$$\eta_e = 0,97 - 0,00412(T_k - T_i). \quad (4)$$

Значения эксергетического КПД, полученные по формуле (3), приведены на рис.3.

Необходимо отметить, что зависимостями, представленными на рис.2 и 3, можно пользоваться при условии достаточной удаленности температуры испарения от критической температуры для данного хладагента.

ятиях с собственными котельными такое применение ТНУ оправданно ввиду низкого КПД котельных по сравнению с КПД электростанций. На предприятиях с централизованным теплоснабжением вопрос использования ТНУ в целях отопления требует тщательного анализа, поскольку в этом случае необходимо наличие большого количества низкопотенциальной теплоты с целью повышения коэффициента преобразования до требуемой величины.

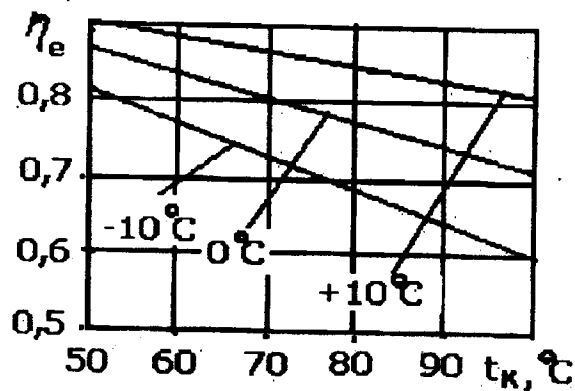


Рис. 3

Как видно из рис.1, при температуре холодного источника теплоты (в данном случае теплоты побочных энергетических ресурсов предприятия), равной  $10$ °С, экономически оправдано иметь максимальную температуру горячего источника теплоты около  $70$ °С; при температуре холодного источника, равной  $30$ °С, температуру горячего можно поднять до  $95$ °С, а при температуре  $t_x = 50$ °С температура  $t_r$  может достигать уже  $125$ °С. Таким образом, для получения температур конденсации до  $120$ °С возможно использование одноступенчатой схемы ТНУ.

В текстильной и химической отраслях имеются возможности использования как небольших ТНУ для удовлетворения в низкопотенциальной теплоте (до  $120$ °С) отдельных теплотехнологических процессов и установок, так и небольших теплонасосных станций для частичного обеспечения технологической теплотой и холодом

всего предприятия. При этом также надо учитывать крайнюю неравномерность технологического теплоснабжения. В случае применения мощных ТНУ по типу вода-вода потребуются использование систем аккумулирования как сбросной теплоты, так и теплоты, вырабатываемой теплонасосными установками.

ТНУ также можно эффективно использовать как с целью нагрева свежего воздуха для сушильных установок за счет использования теплоты отработанной паровоздушной смеси, так и для нагрева технологической воды за счет теплоты отработанных сбросных растворов. При этом теплонасосные установки могут быть встроены в сами технологические агрегаты.

В текстильной и химической промышленности существует потребность в горячей воде нескольких температурных уровней.

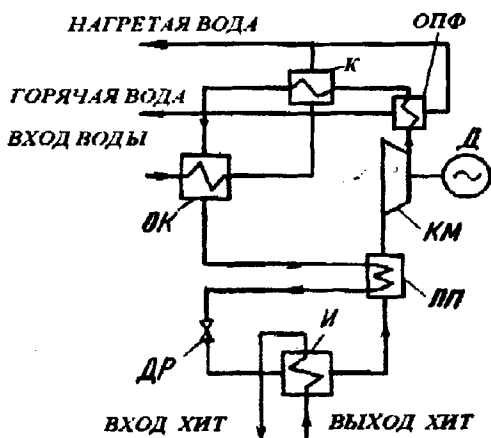


Рис. 4

На рис.4 изображена принципиальная схема двухуровневой по температуре теплонасосной установки для утилизации теплоты сбросных растворов предприятия [4], где КМ– компрессор; Д– электродвигатель; ОПФ– охладитель паров фреона; К– конденсатор; ОК– охладитель конденсата; ПП– регенеративный теплообменник (пароперегреватель); ДР– дроссель; И– испаритель; ХИТ– холодный источник теплоты.

В этом случае, применяя фреон R12, можно получить температуру нагретой воды 55 и горячей 80°C. При использовании фреона R142 температура нагретой воды составит 65, а горячей 90°C.

Установка работает следующим образом. Сжатые в компрессоре К пары фреона в перегретом состоянии поступают в охладитель паров фреона ОПФ, где происходит их охлаждение до состояния насыщения с отдачей теплоты горячей воде. Насыщенный пар фреона поступает в конденсатор К, в котором он конденсируется и отдает теплоту нагретой воде, после чего поступает в охладитель конденсата ОК, где дополнительно охлаждается, отдавая теплоту нагреваемой воде, и затем поступает в регенеративный теплообменник (пароперегреватель) ПП, в котором происходит его охлаждение с отдачей теплоты потоку насыщенных паров фреона. Охлажденный в регенеративном теплообменнике поток фреона дросселируется в дроссельном вентиле Д и поступает в испаритель И, где происходит его испарение за счет теплоты низкопотенциального источника теплоты (холодного источника теплоты). Затем насыщенный пар фреона поступает в регенеративный теплообменник – пароперегреватель ПП, из пароперегревателя в компрессор, где происходит его сжатие и весь цикл повторяется.

Нагреваемая вода, поступающая в ТНУ, подводится к охладителю конденсата ОК, где происходит ее предварительный нагрев, и затем в конденсатор К, где она нагревается до температуры нагретой воды. Затем нагретая вода разделяется на два потока, одна часть которого направляется к потребителю нагретой воды, а другая поступает в охладитель паров фреона ОПФ, где нагревается до температуры горячей воды, после чего направляется к потребителю горячей воды. Таким образом, в данной ТНУ осуществляется двухуровневый нагрев технологической воды.

Основные технические характеристики ТНУ, использующего в качестве рабочего тела хладагент R12, приведены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Теплопроизводительность	9 кВт
Давление конденсации	1,5 МПа
Давление испарения	0,45 МПа
Мощность компрессора	4 кВт
Температура нагретой воды	55°C
Температура горячей воды	80°C
Коэффициент преобразования	2,25

Использование в такой установке фреона R21 позволит поднять максимальную температуру нагреваемого теплоносителя до 110°C.

Данную теплонасосную установку можно применять в системе отопления и горячего водоснабжения для технологических нужд предприятия, а также использовать с целью одновременного круглогодичного производства теплоты и холода для нужд отопления, систем кондиционирования и технологических нужд. В этом случае в качестве рабочего тела ТНУ целесообразно применять неазеотропную смесь, состоящую в зависимости от требуемых начальной и конечной температур из различных смесей фреонов.

Использование двухступенчатой ТНУ в этом случае нецелесообразно, поскольку снижение потерь вследствие необратимости в компрессорах не компенсирует затрат на удорожание конструкции.

## ВЫВОДЫ

1. На основе анализа известных схем теплонасосных установок (ТНУ), а также результатов оценочных расчетов их энергетических коэффициентов полезного действия и коэффициентов преобразования с учетом параметров низкопотенциальной сбросной теплоты обоснована перспективность использования теплонасосных установок в текстильной промышленности.

2. Предложена принципиальная схема двухуровневой по температуре теплона-

сосной установки для использования низкопотенциальных побочных тепловых энергетических ресурсов текстильных предприятий. Результаты расчетов показывают, что с помощью предложенной теплонасосной установки при использовании низкопотенциальной сбросной теплоты и соответствующем выборе хладагентов возможно получение нагреваемого теплоносителя с температурой до 110°C. Кроме того, названную установку можно использовать при круглогодичном производстве теплоты – для систем отопления и холода – для систем кондиционирования воздуха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных, общественных и жилых зданиях. –М.: Стройиздат, 1976.
2. Везиришвили О.Ш., Меладзе Н.В. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения. –М.: МЭИ, 1994.
3. Мартынов А.В., Разумовский А.В., Шильдкрет В.М. Энергосбережение и основные направления развития исследований теплонасосных установок // Сб. науч. тр. –М., 1989. №198.
4. Тюрин М.П., Попов Д.С., Терешкина В.И. Снижение тепловых выбросов путем использования тепловых насосов. // Тез. докл. науч. конф. –М.: МГТА, 1996.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 06.04.01.