

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНОГО ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Болдырев С.А., к.т.н, доцент, Гарев А.О., ассистент, Капустенко П.А., к. т. н., профессор,
Перевертайленко А.Ю., ст. научн. сотр.
Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”
г. Харьков

Рассмотрены возможности использования сбросного тепла конденсаторов холодильных установок ряда предприятий пищевой промышленности с помощью теплонасосных технологий.

The possibilities of waste heat use of food industries refrigeration units condensates with heat pumps technologies are discussed.

Ключевые слова: сбросное тепло, конденсатор, температурный потенциал, аммиак.

Анализ производственных процессов ряда отраслей пищевой промышленности Украины указывает на типичность структуры схем энергопотребления предприятий. Тепловая энергия к процессам подводится горячими утилитами, которые обеспечиваются теплогенерирующим узлом, например, котельной. Многие технологические процессы проходят при достаточно низких температурах, что может быть обеспечено только низкотемпературными холодными утилитами, которые готовятся с помощью холодильных установок парокомпрессионного типа. Тепло, отданное в испарителе холодильной установки, в конечном счете, передается в конденсаторе охлаждающей среде, оборотной воде или потоку воздуха:

$$Q_K = Q_{EV} + W, \quad (1)$$

где Q_{EV} – тепло, отданное в испарителе; W – работа, затраченная на сжатие паров хладагента в компрессоре.

В существующих холодильных системах предприятий пищевой промышленности Украины за редким исключением это тепло не используется, то есть выбрасывается в окружающую среду. Среди холодильных установок предприятий пищевой промышленности Украины в настоящее время преобладают аммиачные холодильные установки. Аммиак (R717) обладает благоприятными для его использования в качестве хладагента теплофизическими свойствами [1, 2], не разрушает озоновый слой ($ODP = 0$) и не оказывает прямого действия на увеличение парникового эффекта. Резкий запах, присущий аммиаку, является хорошим индикатором его утечки. Негативными свойствами аммиака являются его токсичность и взрывоопасность.

Пары аммиака после испарителя поступают в компрессоры, где происходит их сжатие до $10 - 15 \text{ кг/см}^2$. Как известно [1], пары аммиака после сжатия имеют существенный перегрев, температура паров после сжатия достигает $90 - 120 \text{ }^\circ\text{C}$. Охлаждение перегретых паров аммиака происходит в предконденсаторах, либо в самих конденсаторах, однако это тепло не используется:

$$Q_{DSH} + Q_{Cond} = Q_{сброс}, \quad (3)$$

где Q_{DSH} – количество тепла, отданное перегретыми парами аммиака при их охлаждении до температуры насыщения; Q_{Cond} – количество тепла, отданное при конденсации насыщенных паров аммиака.

Количество сбросного тепла холодильной установки может быть сопоставимо с количеством тепловой энергии, вырабатываемой котельной; тем не менее, температурный потенциал её в основном невысок, поскольку температура конденсации насыщенных паров аммиака при давлении сжатия составляет $27 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Количество тепла, отведенное от перегретых паров аммиака при их охлаждении до температуры насыщения составляет около $15 - 20 \%$ всей тепловой нагрузки на узел конденсации, однако температурный потенциал этого тепла существенно выше, $80 - 120 \text{ }^\circ\text{C}$. Использование этого тепла для подогрева воды на водоподготовку котельной, либо для подогрева воды на санитарно-технологические нужды подробно рассмотрено в работах [3, 4]. В работе [5] описана конструкция узла охлаждения перегретых паров аммиака на базе полуразборного пластинчатого теплообменника для одного из сыродельных заводов Харьковской области. Показана возможность нагрева воды до $50 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Тепло паров аммиака после охладителя паров аммиака снимается в конденсаторе охлаждающей оборотной водой, либо воздухом. Проанализируем структуру производств, пользуясь данными,

приведенными в [6]. Можно выделить ряд производств, которые используют процессы, проходящие при температурах 30 – 170 °С и процессы, проходящие при температурах ниже 0 °С. Проведение последних обеспечивается холодильными установками, в основном аммиачными. Процессы, проходящие при температурах выше 30 °С, можно условно разделить на три большие группы:

- с невысоким температурным потенциалом 30 – 50 °С (водоподготовка котельной, горячая вода на сычужное свертывание молока и др.);
- с умеренным температурным потенциалом 50 – 70 °С (горячая вода на санитарно-технические и бытовые нужды, некоторые стадии в производстве определенных сортов сыра, отопление и т.д.);
- с повышенным температурным потенциалом 70 – 95 °С (пастеризация и аналогичные виды термообработки, отопление при минимальных температурах наружного воздуха, некоторые процессы сушки и др.);
- с высоким температурным потенциалом, более 100 °С (стерилизация, ультравысокая температурная (УВТ) обработка продуктов, ряд процессов сушки и др.).

Для проведения процессов с повышенным и высоким температурным потенциалом в качестве греющей среды широко используется водяной пар.

Таким образом, использование температурного потенциала конденсации аммиака в конденсаторе существующих аммиачных холодильных установок пищевых ограничено для производственных и вспомогательных процессов. В работах [4, 5] рассмотрена возможность повышения температурного потенциала процесса конденсации, что достигается дополнительным компримированием паров аммиака. По данным, приведенным в [5] сжатие паров аммиака до 2,7 МПа позволит достичь температуры конденсации $t_k = 61$ °С, что позволит интегрировать тепло, снятое в конденсаторе лишь для процессов с умеренным температурным режимом. Конденсатор существующей аммиачной холодильной установки представляет собой не что иное, как источник низкопотенциального сбросного тепла, которое может быть использовано в тепловом насосе более высокого уровня, то есть сбросное тепло конденсатора аммиачной холодильной установки передается в испаритель теплового насоса более высшего уровня, как это показано на рис. 1.

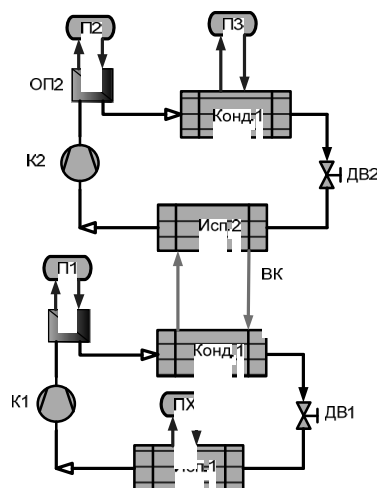


Рис. 1 – Схема использования низкопотенциального тепла конденсатора аммиачной холодильной установки

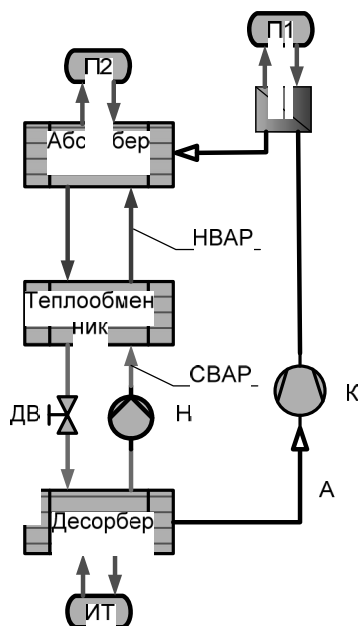
На рис. 1. Исп. 1 – испаритель существующей аммиачной холодильной установки; Исп. 2 – испаритель теплового насоса второго уровня; ОП1 – охладитель паров аммиака существующей установки; ОП2 – охладитель перегретых паров хладагента теплового насоса второго уровня; ДВ1 и ДВ2 – дроссельные вентили; К1 и К2 – компрессоры; П1, П2 и П3 – процессы-потребители тепла; ПХ – процессы –потребители холода; ВК – водяной контур.

При проектировании теплового насоса второго уровня, прежде всего необходимо определить температурный потенциал и теплотребления процесса П3, а затем подобрать рабочее тело. Зададимся температурным потенциалом процесса $t_3 = 85$ °С, следовательно, температура конденсации рабочего тела в конденсаторе 2 должна быть не менее 90 °С. Проанализируем применение некоторых рабочих тел для парокомпрессионных тепловых насосов. Высокотемпературный фреон R114 в настоящее время не применяется согласно Монреальскому протоколу о веществах, разрушающих озоновый слой Земли [7]. Фреон R134а, применяющихся в тепловых насосах, имеет очень малую величину ODP = $1,5 \cdot 10^{-5}$, но сра-

внительно большую величину $GWP = 1300$, кроме того, конденсация насыщенных паров R134a при $t_3 = 90\text{ }^\circ\text{C}$ происходит при давлении, равном 33 кГ/см^2 , что существенно повышает стоимость оборудования теплового насоса второго уровня. Этим же недостатком обладают высокотемпературные тепловые насосы, использующие в качестве рабочих тел аммиак и двуокись углерода.

В последнее время все большее внимание привлекается к так называемым гибридным тепловым насосам, сочетающим преимущества парокомпрессионных и абсорбционных тепловых насосов [8, 9], которые прошли лабораторные испытания и уже внедрены на нескольких предприятиях пищевой промышленности [10]. В качестве рабочего тела, в частности применяется водоаммиачная смесь, что дает возможность в зависимости от состава обеспечивать температуры до $90 - 100\text{ }^\circ\text{C}$, при давлениях не

более 20 бар. Принципиальная схема гибридного теплового насоса, работающего на водоаммиачном рабочем теле, приведена на рис. 2



*А – пары аммиака; СВАР - слабый водоаммиачный раствор;
НВАР – насыщенный водоаммиачный раствор; К – компрессор; Н – насос СВАР;
П1, П2 – потребитель тепла; ДВ – дроссельный вентиль; ИТ – источник тепла;
ОП – охладитель перегретых паров аммиака*

Рис. 2 – Схема гибридного теплового насоса

Рабочее тело гибридного теплового насоса представляет собой смесь рефрижеранта (аммиак) и абсорбента (вода). В десорбере происходит испарение большей части аммиака, пары которого сжимаются в компрессоре К и подаются в абсорбер, где смешиваются со слабым водоаммиачным раствором, подаваемым насосом Н и подогретом в рекуперативном теплообменнике насыщенным в абсорбере водоаммиачным раствором. Тепло сжатия паров аммиака и тепло абсорбции слабого водоаммиачного раствора используется потребителем.

Таким образом, можно достигнуть температур, соответствующих процессам пищевых производств с повышенным температурным потенциалом без существенного повышения давления в тепловом насосе второго уровня.

Выводы

Предложенный подход в сочетании с утилизацией тепла перегретых паров аммиака аммиачной холодильной машины может существенно сэкономить горячие утилиты, вырабатываемые котельными предприятий, и, следовательно, потребление топлива.

Литература

1. Morrison L.H., Duus H.C. Refrigeration systems applied to demands of modern industry. "Chemical & Metallurgical Engineering", 1932, 9, No.4, p. 228–233.
2. Calm J.M. ARYI Refrigeration Database– V.1. Single Compound Refrigerants.: DoE/CE/ 23810 – 105, Sept. 1999, 578 pp.

3. Panno G., Auguanno S., Messineo A., Panno D., Ammonia heat pump for energy saving in food industrial process :the case of cheese factory.– IIR Conference:Ammonia Refrigeration Systems, Renewal and Improvement, Ohrid, 2005.
4. Petro O. Kapustenko, Leonid M. Ulyev, Stanislav A. Boldyryev, Andrey O. Garev. Integration of a heat pump into the heat supply system of a cheese production plant. Energy 33 (6), 2008, 882–889.
5. Товажнянський Л.Л., Гарев А.О., Арсеньєва О.П., Перевертайленко А.Ю. Перспективи використання високоєфективних пластинчатих теплообмінних апаратів при інтеграції теплонасосних технологій в промислові холодильні цикли.– «Інтегровані технології та енергозбереження», 2008, №4, с. 33–42.
6. Л.Л. Товажнянський, С.І. Бухкало, П.О. Капустенко, О.П. Арсеньєва, О.І. Ольховська, Є.І. Орлова. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. – Київ, «Центр учбової літератури», 2011, 832 с.
7. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.-UNEP Ozone Secretariate UN Environmental Programme, publ. 2000, 54 pp.
8. Infante Ferreira C.A., Zaytsev D. Experimental Compression-Resorption Heat Pump for Industrial Application.- International Refrigeration and Air Conditioning Conference, 2002, Paper 601, 8 pp.
9. Brondum P., Markussen M., Reinholdt L. Utilization of industrial low-grade waste heat by means Of new emerging high-temperature heat pumps. – 4th IIR Conference: Ammonia Refrigeration Technology, Ohrid, 2011, 8 pp.
10. Horntvedt B. Unikt industrianlegg: Ny Norsk hybrid varmpumpe. ”Kalde Scandinavia”, 2004, №1, p. 6,8.