

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ В ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ УСТАНОВКАХ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

В. А. Пухкал¹, М. М. Петров²

¹Канд. тех. наук, доцент, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Россия,
pva1111@rambler.ru

²Аспирант, СПбГАСУ, Санкт-Петербург, Россия, michaelpetrov1998@yandex.ru

Аннотация

В статье описывается современное состояние вопроса утилизации тепловой энергии воздушными тепловыми насосами в приточно-вытяжных установках систем вентиляции и кондиционирования воздуха, а также способы повышения энергоэффективности таких установок.

Выделены две основные компоновки элементов теплового насоса (компрессора, конденсатора и испарителя) в составе приточно-вытяжной установки.

Установлено, что компоновка с размещением компрессорно-испарительного агрегата перед теплоутилизатором в канале вытяжного воздуха и конденсатора за теплоутилизатором в канале приточного воздуха по направлению движения воздушного потока имеет коэффициент преобразования энергии, равный 5,7.

Ключевые слова: системы вентиляции, приточно-вытяжные установки, воздушный тепловой насос, энергоэффективность.

HEAT RECOVERY IN SUPPLY AND EXHAUST INSTALLATIONS WITH A HEAT PUMP

V. A. Puhkal¹, M. M. Petrov²

Abstract

This article describes the current state of the issue of heat energy utilization by air heat pumps in supply and exhaust installations of ventilation and air conditioning systems, as well as ways to improve the energy efficiency of such installations.

The study identifies two main layouts of elements of a heat pump (compressor, condenser and evaporator), which is part of the supply and exhaust system.

As a result, it was found that the configuration with the placement of the compressor-evaporative unit in front of the heat exchanger in the exhaust air channel and the condenser behind the heat exchanger in the supply air channel in the direction of the air flow has an energy conversion coefficient equal to 5.7.

Keywords: ventilation systems, supply and exhaust installations, air heat pump, energy efficiency.

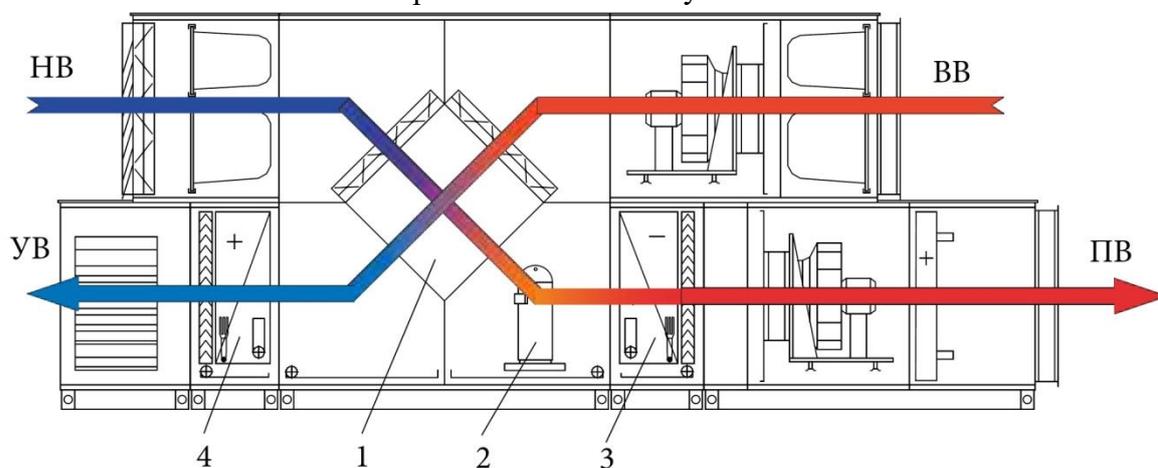
Введение

Эффективное применение тепловых насосов (ТН) в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с целью утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха является одним из практических направлений энергосбережения и охраны окружающей среды [1–10]. В настоящее время возрастают требования к качеству жизни, что неминуемо приводит к более высоким стандартам и

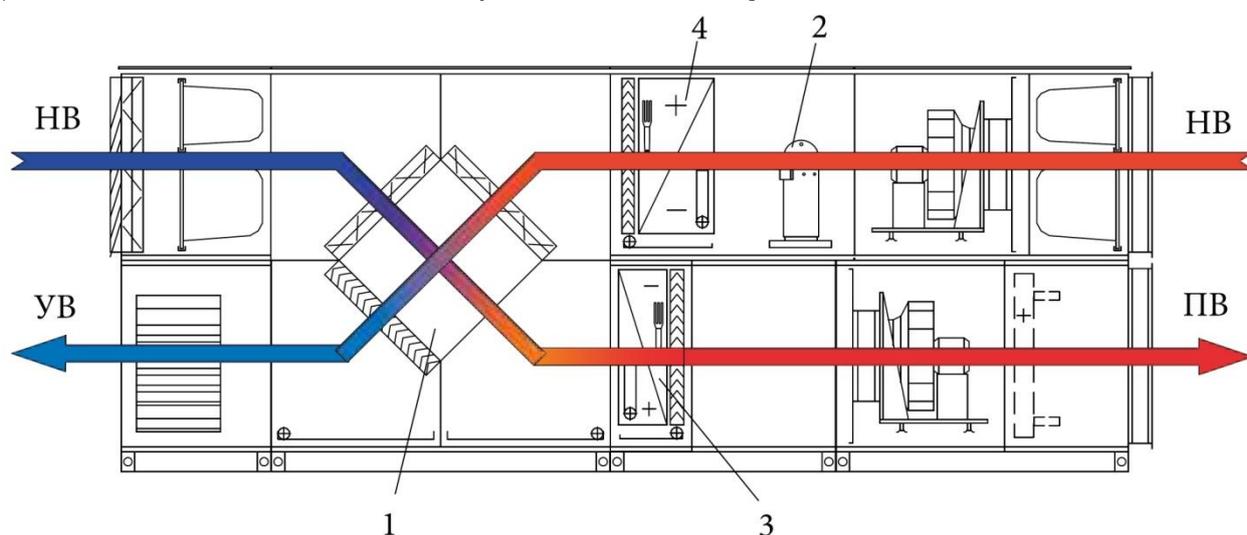
характеристикам вентиляционных систем. В итоге одной из задач в строительстве является внедрение все более совершенных технологий.

В холодный период года при работе приточных систем вентиляции и кондиционирования воздуха в окружающую среду выбрасывается вытяжной внутренний воздух, содержащий большое количество теплоты, расходуемой на нагрев приточного воздуха, подаваемого в помещения здания. Это приводит к возрастанию роли утилизаторов теплоты в системах вентиляции. Наиболее эффективной схемой обработки воздуха с целью утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха является применение утилизаторов различного типа (пластинчатых рекуперативных, роторных регенеративных, систем утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем) и тепловых насосов (рисунок 1) [11].

а) компоновка 1 теплового насоса приточно-вытяжной установки



б) компоновка 2 теплового насоса приточно-вытяжной установки



1 – утилизатор теплоты; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – испаритель; НВ – наружный воздух; ПВ – приточный воздух; ВВ – внутренний воздуха; УВ – удаляемый воздух

Рисунок 1 – Приточно-вытяжные установки с пластинчатым перекрестноточным утилизатором теплоты и тепловым насосом

По расположению элементов теплового насоса (компрессора, конденсатора и испарителя) можно выделить две компоновки (рисунок 1; стрелками показаны направления воздушных потоков при работе теплового насоса в холодный период года.

Компоновка 1: компрессорно-конденсаторный агрегат расположен за теплоутилизатором в канале приточного воздуха; испаритель находится за теплоутилизатором в канале удаляемого воздуха по направлению движения воздушного потока.

Компоновка 2: компрессорно-испарительный агрегат расположен перед теплоутилизатором в канале вытяжного воздуха; конденсатор располагается за теплоутилизатором в канале приточного воздуха по направлению движения воздушного потока.

Для примера на рисунке 1 показаны пластинчатые перекрестноточные рекуперативные утилизаторы теплоты удаляемого вентиляционного воздуха.

Особое внимание в приточно-вытяжных установках с тепловым насосом уделяется воздухо-воздушным теплообменникам (теплоутилизаторам). Эффективность утилизации теплоты в них зависит от множества факторов: конструкции, используемых материалов, отношения площади теплообмена к общему размеру, а также показателей самих воздушных потоков на обеих сторонах.

Варианты компоновок приточно-вытяжных установок с различными типами утилизаторов теплоты удаляемого вентиляционного воздуха приведены на рисунках 2 и 3.

Тепловой насос является своего рода трансформатором теплоты, перекачивая ее от среды низкого температурного потенциала к среде более высокого потенциала. При использовании ТН в системе вентиляции, в роли источника теплоты выступает вытяжной воздух, который имеет температуру выше, чем приточный, выступающий в качестве потребителя. Наибольшее распространение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха получили пароконденсационные тепловые насосы, в которых используется теплота испарения и конденсации при совершении обратного термодинамического цикла.

В настоящей работе поставлена цель проанализировать различные компоновки приточно-вытяжных установок с утилизаторами теплоты и тепловыми насосами (рисунок 1).

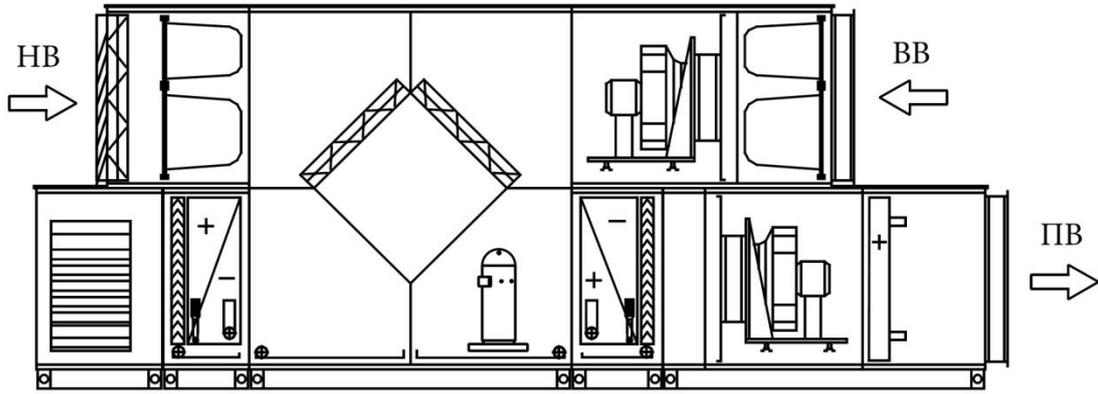
Материалы и методы

Эффективность ТН выражается коэффициентом преобразования энергии (далее КПЭ), который в свою очередь равен отношению полученной тепловой и затраченной электрической энергии:

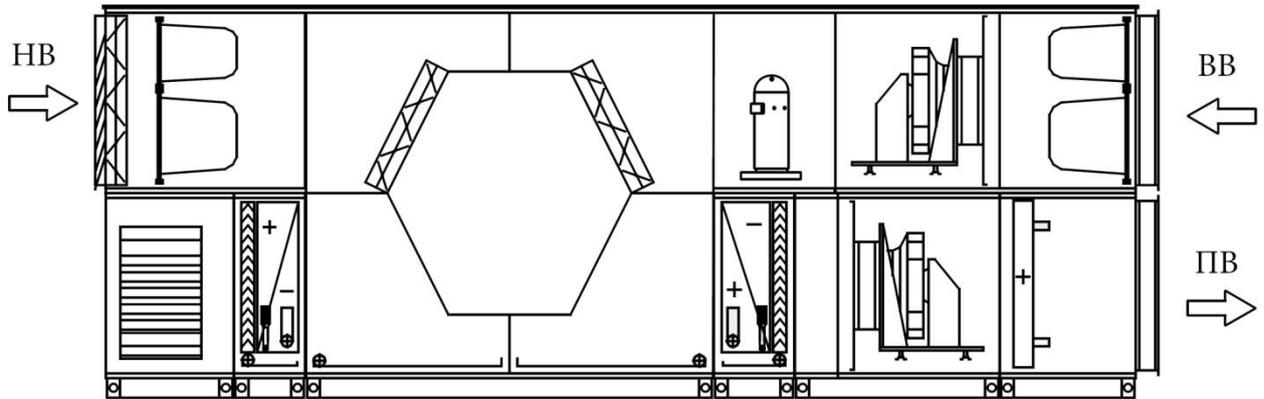
$$\text{КПЭ} = \frac{Q_h}{Q_e} k_a k_g,$$

где Q_h – полная теплопроизводительность цикла; Q_e – мощность привода компрессора; k_a, k_g – коэффициенты, учитывающие потери на аэродинамические и гидравлические сопротивления в системе.

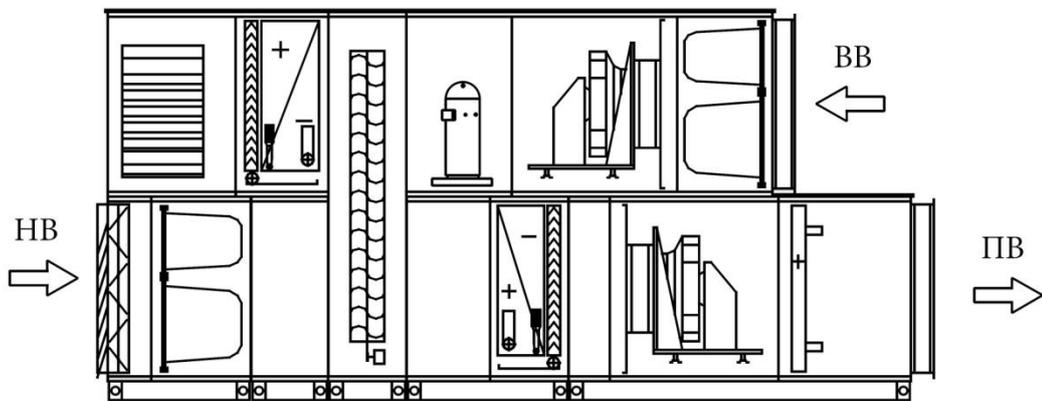
а) с пластинчатым перекрестноточным утили­затором теплоты рекуперативного типа



б) с пластинчатым перекрестнопротивоточным утили­затором теплоты рекуперативного типа



в) с роторным утили­затором теплоты регенеративного типа



г) с утили­затором теплоты с промежуточным теплоносителем

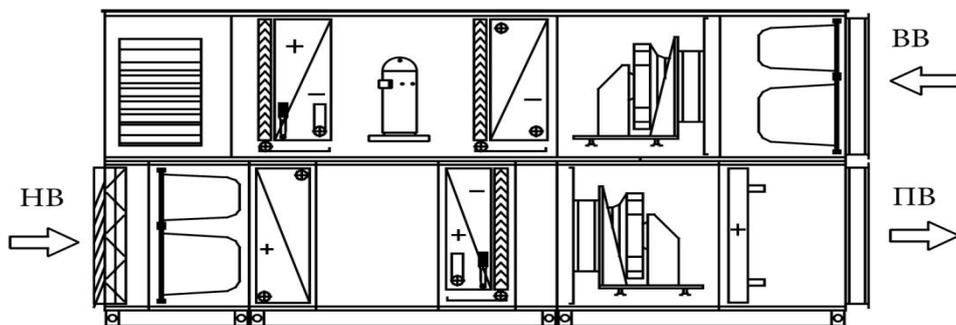
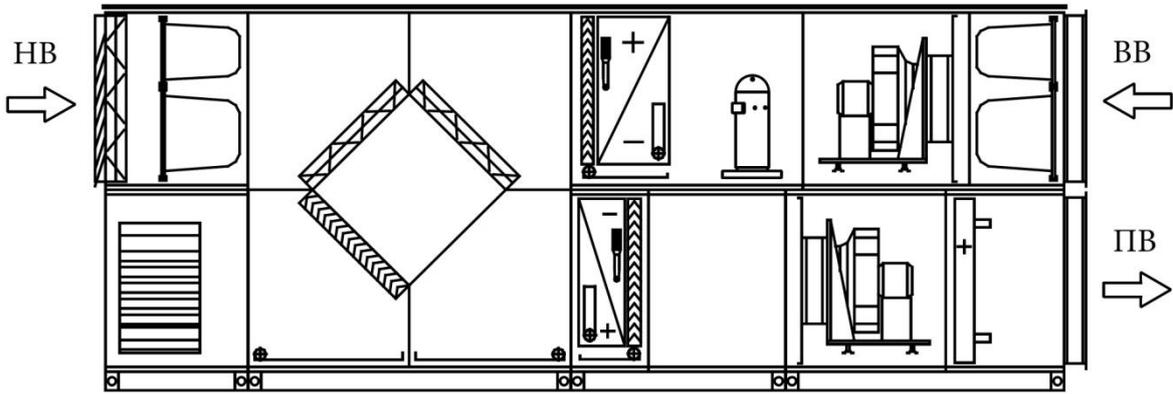
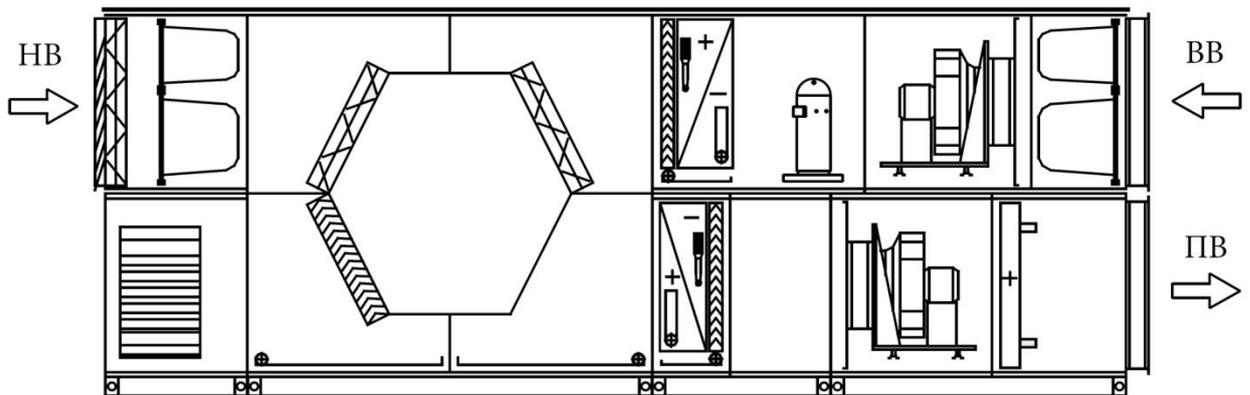


Рисунок 2 – Приточно-вытяжные установки с тепловым насосом компоновки 1

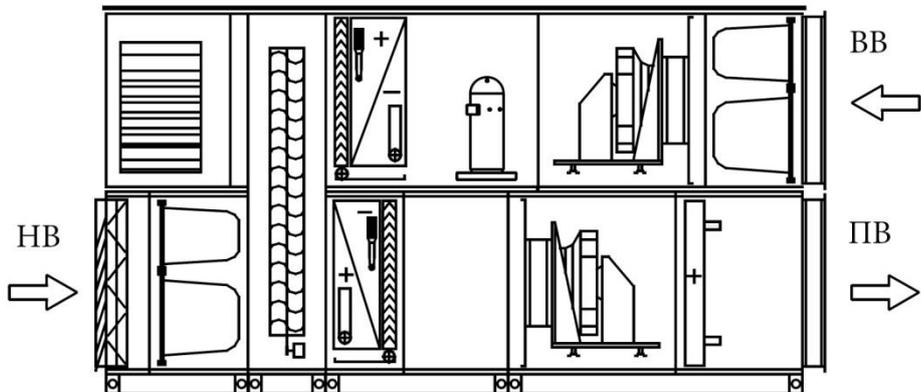
а) с пластинчатым перекрестноточным утилизатором теплоты рекуперативного типа



б) с пластинчатым перекрестнопротивоточным утилизатором теплоты рекуперативного типа



в) с роторным утилизатором теплоты регенеративного типа



г) с утилизатором теплоты с промежуточным теплоносителем

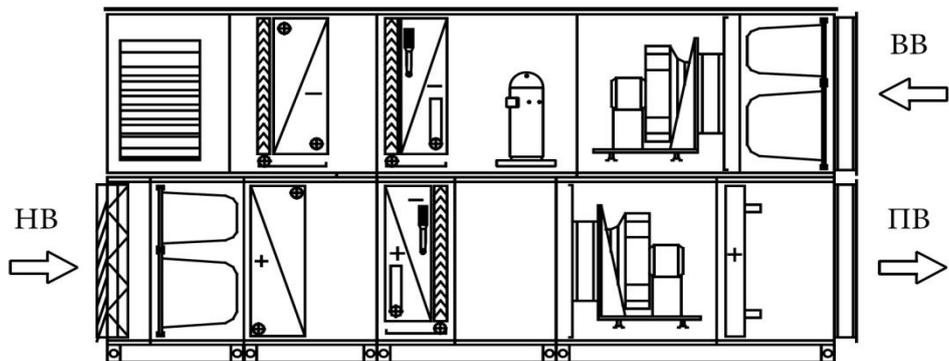


Рисунок 3 – Приточно-вытяжные установки с тепловым насосом компоновки 2

Эффективность работы ТН зависит от ряда факторов, которые можно разделить на внутренние и внешние. К первым стоит отнести совершенство контура ТН, ко вторым – условия его эксплуатации. Основная часть потерь давления приходится на испаритель – около 82 %. Данный фактор сильно сказывается на эффективности теплового насоса и, следовательно, влияет на КПЭ и его необходимо учитывать при проектировании [6].

Одним из способов повышения эффективности ТН является уменьшение степени сжатия в компрессоре, поэтому КПЭ ТН с ростом температуры низкопотенциального источника растет. Конкретные показатели зависимости КПЭ от температуры наружного воздуха представлены на рисунке 4 [1].

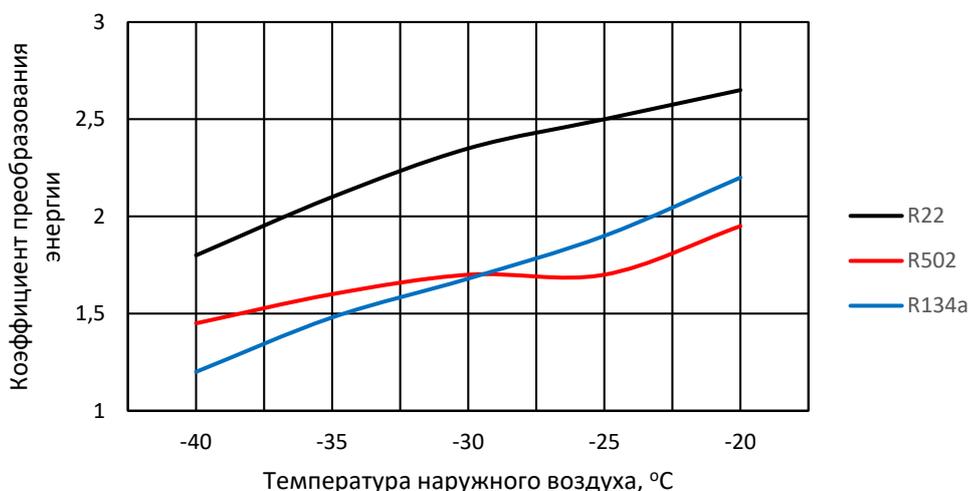


Рисунок 4 – Зависимость КПЭ от температуры наружного воздуха для хладагентов R134a, R22 и R502 [7]

Результаты и обсуждение. Сравнение показателей приточно-вытяжных установок со встроенными тепловыми насосами выполнено по данным [11] для компоновок 1 и 2 (таблица 1). В конструкции установок применялись пластинчатые утилизаторы теплоты рекуперативного типа.

Режим работы приточно-вытяжной установки при компоновке 1 теплового насоса в холодный период года.

Предварительный подогрев приточного воздуха осуществляется в утилизаторе теплоты, затем нагрев в компрессорно-конденсаторном блоке теплового насоса. При необходимости включается в работу дополнительный воздушонагреватель.

Контур холодильного цикла оснащен системой автоматического оттаивания посредством реверсирования работы. В связи с этим рекомендуется оборудовать приточно-вытяжную установку дополнительным воздушонагревателем для использования в период низких температур наружного воздуха. Чаще всего это водяной или электрический воздушонагреватель.

Внутренний воздух первоначально охлаждается в утилизаторе, а затем в испарителе теплового насоса.

Таблица 1 – Сравнение характеристик приточно-вытяжных установок со встроенным тепловым насосом и пластинчатым перекрестноточным утилизатором теплоты рекуперативного типа

Показатели	Значения показателей	
	Компоновка 1	Компоновка 2
Номинальный расход воздуха: – приточного, м ³ /ч; – вытяжного, м ³ /ч.	10000	10000
Параметры наружного воздуха (НВ): – температура, °С; – относительная влажность, %.	-15	90
Параметры внутреннего воздуха (ВВ): – температура, °С; – относительная влажность, %.	22	45
Температура приточного воздуха, °С.	21	21,7
Мощность приточного вентилятора, кВт.	3,8	3,83
Мощность вытяжного вентилятора, кВт.	4,25	4,31
Мощность компрессора, кВт.	6,3	8,9
Максимальная тепловая мощность теплового насоса, кВт.	29,7	51,2
Температурная эффективность пластинчатого утилизатора теплоты, %.	73,3	78,9
КПЭ, кВт/кВт	4,7	5,7

Преимущество компоновки 1 в том, что теплота (холод) удаляемого воздуха максимально используется в течение всего года.

Недостатком является то, что при низких температурах в холодный период года появляется обледенение испарителя, поэтому необходим резервный источник теплоты.

Режим работы приточно-вытяжной установки при компоновке 2 теплового насоса в холодный период года

Наружный воздух сначала предварительно нагревается в утилизаторе, а затем энергия, полученная в воздухоохладителе, передается приточному воздуху в конденсаторе теплового насоса.

Внутренний воздух подогревается, охлаждая компрессор, охлаждается в испарителе теплового насоса, затем в утилизаторе теплоты.

В этой компоновке маловероятно, что обледенение может появиться на испарителе, поэтому в холодильном контуре не предусматривается реверсирование работы.

Для этой компоновки нет необходимости использовать дополнительный источник теплоты. Тепловой насос работает круглый год.

Преимущество в том, что тепловой насос безотказно работает в течение всего года. Компрессор всегда работает при температуре, при которой тепловой насос максимально эффективен.

Недостатком является то, что при низких температурах наружного воздуха в холодный период года появляется обледенение утилизатора теплоты, и отсутствие летнего подогрева в утилизаторе теплоты.

При компоновке 2 температура низкопотенциального источника теплоты растет, соответственно, уменьшается степень сжатия в компрессоре и возрастает КПЭ.

Заключение

Определены две основные схемы компоновок приточно-вытяжных установок с тепловыми насосами и утилизаторами теплоты:

компоновка 1 – компрессорно-конденсаторный агрегат расположен за теплоутилизатором в канале приточного воздуха, испаритель находится за теплоутилизатором в канале удаляемого воздуха по направлению движения воздушного потока;

компоновка 2 - компрессорно-испарительный агрегат расположен перед теплоутилизатором в канале вытяжного воздуха, конденсатор располагается за теплоутилизатором в канале приточного воздуха по направлению движения воздушного потока. Описаны режимы работы установок с указанными компоновками в холодный период года.

Установлено, что вторая компоновка имеет коэффициент преобразования энергии, равный 5,7 и превышающий значение КПЭ для первой компоновки.

Список цитированных источников

1. Аверьянов, В. К. Анализ результатов моделирования одно и двухконтурного воздушного теплового насоса / В. К. Аверьянов, И. Д. Киборт, В. М. Уляшева // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 3. – С. 164–168.
2. Богуславский, Л. Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха / Л. Д. Богуславский [и др.]; под ред. Л. Д. Богуславского и В. И. Ливчака. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.
3. Васильев, Г. П. Приточно-вытяжная вентиляционная установка с теплонасосной рекуперацией тепла вентиляционных выбросов / Г. П. Васильев [и др.] // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – № 6. С. 14–21.
4. Володин, В. И. Энергетическая эффективность теплового насоса «воздух–воздух» / В. И. Володин, В. Б. Кунтыш, С. О. Филатов // Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ. – 2015. – № 3 (176). – С. 145–151.
5. Gustafsson, M. Energy performance comparison of three innovative HVAC systems for renovation through dynamic simulation, / M. Gustafsson [and all] // Energy Build – 2014. – P. 512–519.
6. Дискин, М. Е. Эффективность рекуперации теплоты в системах вентиляции при температурах наружного воздуха ниже температуры опасности обмерзания / М. Е. Дискин // АВОК. – 2006. – № 4. – С. 8–11.
7. Здитовецкая, С. В. Исследование эффективности утилизации теплоты в системах приточно-вытяжной вентиляции / С. В. Здитовецкая,

- В. И. Володин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 2.
8. Здитовецкая, С. В. Утилизация теплоты в системе приточно-вытяжной вентиляции с использованием теплового насоса / С. В. Здитовецкая, В. И. Володин // Труды Белорусского гос. технологичю ун-та. Серия 3. Химия и технология неорганических веществ. – 2009. – № 3. – Т. 1 – С. 171-173.
9. Реев, В. Г. Расчет цикла теплового насоса при различных источниках низкопотенциального тепла в условиях Арктики Республики Саха (Якутия) / В. Г. Реев, Д. С. Г. Утум // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. – 2023. – № 2 – Т. 20 – С. 25–34. – DOI 10.25587/SVFU.2023.66.41.003.
10. Шелгинский, А. Я. Анализ применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения / А. Я. Шелгинский, И. В. Яковлев // Вестник МЭИ. Энергетика. – 2018. – № 2. – С. 42–52. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-2-42-52.
11. Air handling unit with an integrated heat pump. Mandik. – Mode acctss: <https://scottair.ro/wp-content/uploads/2021/05/3-Centrale-de-tratare-aer-cu-grup-de-compresor-condesator-inclus-Mandik.pdf>. Date fctss: 08.09.2023.