

УДК 697.91

Пухкал В. А., Петров М. М.

**ОБМЕРЗАНИЕ ИСПАРИТЕЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В
ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ УСТАНОВКАХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. Пухкал В. А. – к. т. н., доцент, Петров М. М. – аспирант

Аннотация

В статье рассмотрены приточно-вытяжные вентиляционные установки со встроенными утилизаторами теплоты и тепловыми насосами. Такая комбинация позволяет обеспечить максимальную эффективность утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха.

Рассмотрена компоновка установки в составе компрессорно-конденсаторного агрегата за теплоутилизатором в канале приточного воздуха и с расположением испарителя за теплоутилизатором в канале удаляемого воздуха по направлению движения воздушного потока.

Определены условия инееобразования на поверхности испарителя теплового насоса для разработки мероприятий по оттайке поверхности при проектировании установок.

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

Введение

Воздушные тепловые насосы, встроенные в конструкцию приточно-вытяжных вентиляционных установок, являются перспективными теплоутилизационными устройствами с высокой эффективностью и экологичностью [1–11].

В работах [7, 8] выделены две основные компоновки тепловых насосов по расположению элементов (компрессора, конденсатора и испарителя) в приточно-вытяжных установках с утилизаторами теплоты удаляемого вентиляционного воздуха. Для анализа принята компоновка 1 [8, 9]: компрессорно-конденсаторный агрегат расположен за теплоутилизатором в канале приточного воздуха; испаритель находится за теплоутилизатором в канале удаляемого воздуха по направлению движения воздушного потока.

При компоновке 1 испаритель, размещенный после пластинчатого утилизатора теплоты по ходу движения внутреннего воздуха в установке, в холодный период года обмерзает.

Иней осаждается на поверхности ребер и трубок испарителя, когда температура поверхности ниже температуры точки росы воздуха и температуры замерзания воды. Отложившийся иней уменьшает проходное сечение для воздуха и увеличивает потери на трение, что приводит к снижению расхода воздуха. Кроме того, слой инея увеличивает термическое сопротивление поверхности ребер. Эти нежелательные факторы вызывают снижение теплопроизводительности теплонасосной системы в условиях обледенения [5]. Для восстановления производительности теплового насоса необходимы периодические работы по размораживанию.

При проектировании приточно-вытяжных установок для разработки методов оттайки испарителей важно прогнозировать условия, при которых будет наблюдаться обледенение.

Материалы и методы

Исследованию методов снижения степени обледенения и оттайки испарителей тепловых насосов посвящено значительное число работ, обзор которых приведен в [3]. Однако условия, при которых наблюдается обмерзание, не определены.

Для оценки условий обмерзания построен процесс изменения состояния наружного и удаляемого воздуха в приточно-вытяжной установке с пластинчатым утилизатором теплоты и тепловым насосом на I-d-диаграмме по данным [7, 8] (рисунок 1).

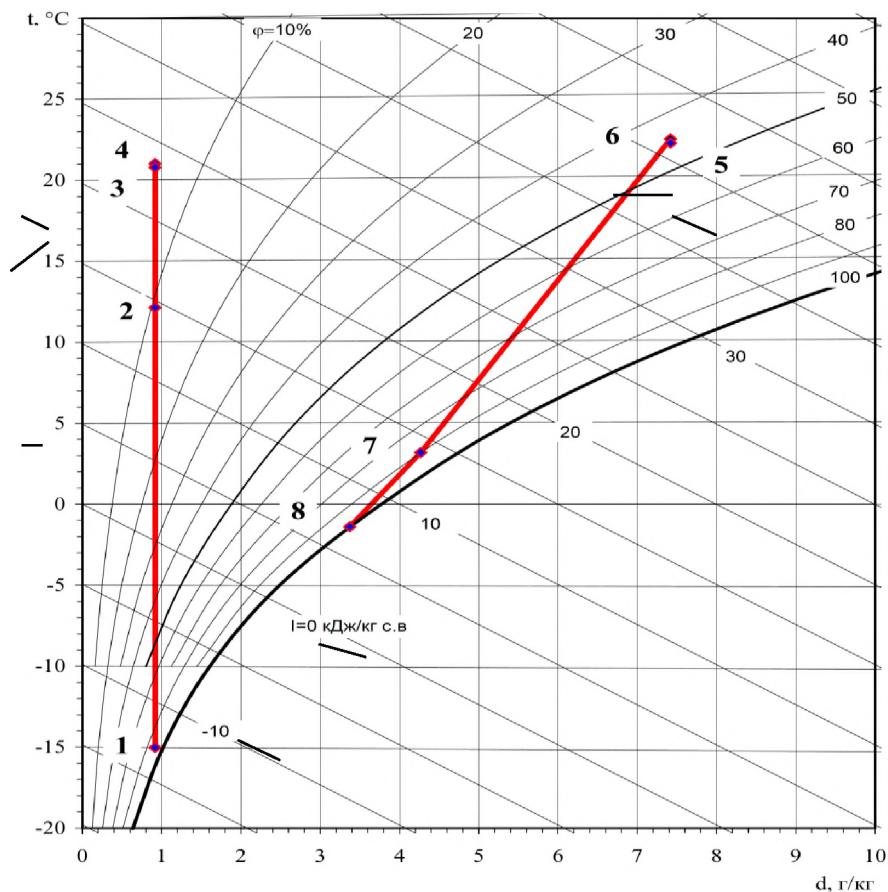
Для оценки условий обледенения поверхности испарителя теплового насоса на основании данных [11] построена пограничная кривая, позволяющая определить области переохлажденных капель воды и инея (рисунок 2).

Граничная кривая может быть описана следующей зависимостью:

$$\Delta d = 0,197 \cdot t_n^2 + 3,573 \cdot t_n + 16,828, \text{ г/кг},$$

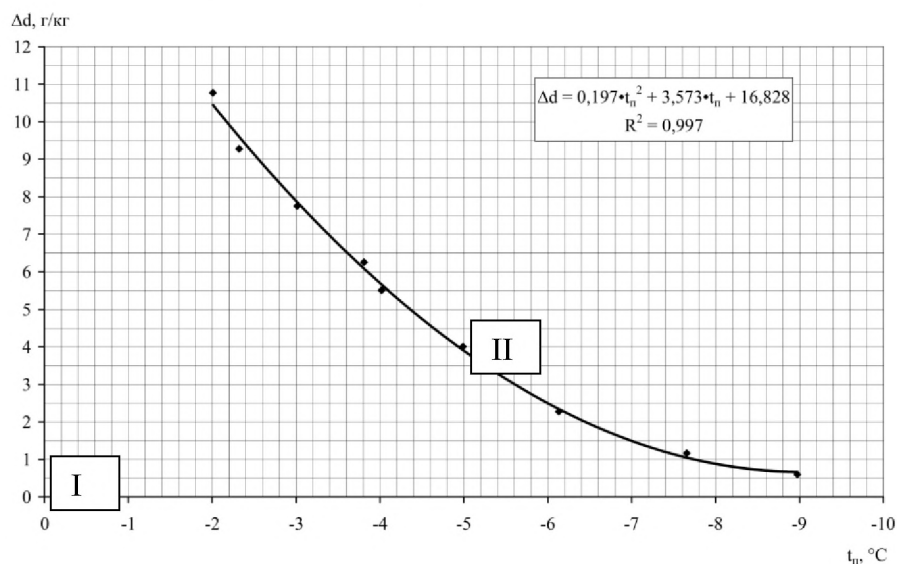
где $\Delta d = d_{\text{вх}} - d_n$ – разность влагосодержаний воздуха на входе в испаритель, $d_{\text{вх}}$, г/кг, и в состоянии насыщения при t_n – d_n , г/кг;

t_n – температура поверхности трубок испарителя, °С.



1 – точка наружного воздуха; 4 – точка приточного воздуха; 5 – точка внутреннего воздуха; 8 – точка удаляемого воздуха; 1–2 – процесс нагрева наружного воздуха в пластинчатом утилизаторе теплоты; 2–3 – процесс нагрева воздуха в компрессорно-конденсаторном агрегате теплового насоса; 3–4 – подогрев воздуха в приточном вентиляторе; 5–6 – подогрев внутреннего воздуха в вытяжном вентиляторе; 6–7 – политропический процесс в пластинчатом утилизаторе теплоты; 7–8 – политропический процесс в испарителе теплового насоса

Рисунок 1 – Процессы изменения состояния наружного и внутреннего воздуха в приточно-вытяжной установке с пластинчатым перекрестноточным утилизатором теплоты и тепловым насосом



I – область переохлажденных капель воды; II – область инея на поверхности испарителя

Рисунок 2 – Влияние температуры поверхности и влагосодержания воздуха на инеобразование

Результаты и обсуждения

Данные на рисунке 3 позволяют оценить условия инееобразования на поверхности испарителя. Например, при температуре на поверхности испарителя, равной температуре кипения хладагента, $t_0 = -8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, для условий рассматриваемого примера [7, 8] разность влагосодержаний – $\Delta d = 2,42\text{ г/кг}$. Точка пересечения находится в области инееобразования. Соответственно, необходимо предусмотреть меры по оттайке поверхности испарителя при эксплуатации. Или повысить температуру кипения хладагента до минус 6 $^{\circ}\text{C}$.

Заключение

Определены условия инееобразования на поверхности испарителя теплового насоса, интегрированного в приточно-вытяжную вентиляционную установку. Полученные данные позволяет предусмотреть мероприятия по оттайке поверхности или предотвращению обмерзания.

Список использованных источников

1. 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.
2. 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.
3. Гаранов, С. А. Обзор методов снижения степени обледенения и оттайки испарителей тепловых насосов / С. А. Гаранов, Д. Ю. Заболотный, К. В. Протопопов // Холодильная техника. – 2016. – Т. 105, № 12. – С. 28–35.
4. 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.
5. Здитовецкая, С. В. Утилизация теплоты в системе приточно-вытяжной вентиляции с использованием теплового насоса / С. В. Здитовецкая, В. И. Володин // труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 3. Химия и технология неорганических веществ. – 2009. – Т. 1, № 3. – С. 171–173.
6. Ильина, Т. Н. Эффективность работы воздушных тепловых насосов с испарителями различных конструкций / Т. Н. Ильина, П. А. Орлов, А. О. Ечина // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2023. – 27 (2). – С. 62–74. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-62-74> (дата обращения: 05.04.2024).
7. Пухкал, В. А. Утилизация теплоты в приточно-вытяжных установках с тепловым насосом / В. А. Пухкал, М. М. Петров // Эффективность инженерных систем и энергосбережение: сборник статей международной научно-практической конференции, Брест, 19–20 октября 2023 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. техн. ун-т; под ред. В. Г. Новосельцева [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2023. – С. 92–100.
8. Пухкал В.А., Петров М.М. Энергоэффективность приточно-вытяжных установок со встроенным тепловым насосом. Строительство и техногенная безопасность. Специальный выпуск. / В. А. Пухкал, М. М. Петров // материалы VI международной научно-практической конференции Методология безопасности среды жизнедеятельности 2023. – 2023, № S1 – С. 294–299.

9. Шелгинский, А. Я. Анализ применения теплонасосных установок в системах теплоснабжения / А. Я. Шелгинский, И. В. Яковлев // Вестник МЭИ. Энергетика. – 2018. – № 2. – С. 42–52.
10. Air handling unit with an integrated heat pump. Mandik. - URL: <https://scottair.ro/wp-content/uploads/2021/05/3-Centrale-de-tratare-aer-cu-grup-de-compresor-condesator-inclus-Mandik.pdf> (дата обращения: 05.04.2024).
11. Deyae Badri, Cyril Toubanc, Olivier Rouaud, Michel Havet. Review on frosting, defrosting and frost management techniques in industrial food freezers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 151. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111545> (дата обращения: 05.04.2024).