

## Оценка эффективности рекуперативных теплообменников

*Т.Е. Ковалёва, Д.А. Васильева, Д.Г. Усадский*

*Волгоградский государственный технический университет*

*Институт архитектуры и строительства.*

**Аннотация:** В данной статье предметом исследования являются типы теплообменников, используемых в установках очистки воздуха, с целью сравнения их эффективности и сроков окупаемости. Рекуператор – это теплообменник, в котором используется тепло отходящих газов через разделяющую их стенку теплоносителей. В зависимости от температуры потока, скорости вращения и скорости ротора мы определяем эффективность теплообменника. Окупаемость теплообменника зависит от климатических параметров региона, его эффективности, вида хладагента и режима работы вентиляции в течении суток.

**Ключевые слова:** рекуператор, теплообмен, влагообмен, холодообмен, теплоноситель, пластинчатый, роторный, тепловой насос, эффективность, энергозатраты, нагреватель, окупаемость.

### Основные типы рекуператоров

В приточно-вытяжных установка применяют следующие типы рекуператоров [1]:

- пластинчатый (перекрестно-точный рекуператор);
- роторный рекуператор;
- тепловой насос.

#### Пластинчатый (перекрестно-точный) рекуператор

Приточный и вытяжной воздух движется по небольшим каналам, образованных теплопроводящими пластинами, по схеме противотока [2]. Смешение потоков и их загрязнение практически исключены. В конструкции теплообменника отсутствуют движущиеся части. Коэффициент полезного действия 50-80% [3]. В теплообменнике влажность может конденсироваться на поверхности пластин из-за разницы температур между потоками воздуха. В холодную погоду существует вероятность замерзания влаги в пластинчатом рекуператоре и его механические повреждения. Образовавшийся лёд значительно снижает эффективность работы теплообменника. Поэтому теплообменники с металлическими теплообменными пластинами требуют периодического оттаивания с потоком теплого воздуха или использования водона-

гревателя или воздухонагревателя. Время оттаивания составляет от 5 до 25 минут. Пластинчатый теплообменник, изготовленный из ультратонких и пластиковых термоусадочных пластин, не склонен к обмерзанию, так как через этот материал происходит влагообмен, но у них есть другой недостаток - их нельзя использовать для осушения помещения с повышенной влажностью.

### **Роторный рекуператор**

В основе устройства цилиндрический пустой барабан - ротор, в котором тепло распространяется от воздушного потока к другому [4]. Внутренняя часть ротора состоит из плотно упакованного металлического листа или проволоки, которые выполняют функцию вращающейся поверхности теплопередачи. Прокат или проволока изготовлены из того же материала, что и пластинчатый теплообменник. Ротор состоит из горизонтальной оси вращения вала двигателя, вращающего с шагом или инверторной регулировкой. С помощью двигателя вы можете управлять процессом восстановления. Показатель эффективности составляет 75-90%. От частоты вращения ротора, а также от скорости и температуры подачи зависит производительность теплообменника. Изменяя параметры оборудования можно изменять показатели производительности работ [5]. Образование льда в роторе-рекуператоре невозможно, но смешение приточного и выпускного воздуха, его загрязнение и рассеивание запахов не могут быть полностью исключены, так как потоки соприкасаются друг с другом. Смешивание может составлять до 3%.

### **Тепловой насос**

Рекуператор, в котором чиллер выполняет функции жидкостного теплообменника, трубопровода и насоса, выступая в роли теплового насоса. Рекуператоры установлены в каналах подачи и нагнетания, компрессор обеспечивает движение фреона, а клапан облегчает передачу тепла от нагнетаемого воздуха к приточному воздуху и наоборот, в зависимости от времени года. Вентиляционная установка может быть объединена с группой других установок контуром охлаждения для работы в различных режимах [6].

## Расчёт эффективности рекуператора.

Расчет проводится по показателям температуры, которая предполагает наличие чистого теплосодержания воздуха, и энтальпией, определяющей влажность воздуха [7]. Наиболее надежные расчеты основаны на энтальпии. Исходные данные расчета берутся из измерения температуры и влажности воздуха в трех местах: в помещении, на улице и в сечении приточной решётки [8].

### Анализ (сравнение) сроков окупаемости пластинчатого и роторного рекуператоров

Проводим сравнительный анализ периода окупаемости теплоутилизаторов [9].

Расход тепла на нагревание наружного воздуха в системе без утилизатора, кВт·ч:

$$Q_p^i = V \cdot \rho \cdot \frac{1}{3600} \cdot c_p \cdot (t_{np} - t_n^i) \cdot \tau_i$$

где  $V$  – расход наружного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $c_p$  – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К);  $t_{np}$  – температура приточного воздуха, °С;  $t_n$  – температура наружного воздуха, °С;  $\tau$  – продолжительность простаивания температуры внешнего воздуха, час.

Потребление тепла в год, кВт·ч/год:

$$Q_p = \sum_i Q_p^i$$

Температура воздуха на выходе из роторного рекуператора, °С:

$$t_{n2}^i = t_{n1}^i + \varepsilon \cdot (t_{y1} - t_{n1}^i)$$

Количество тепла, которое необходимо для догрева приточного воздуха от температуры выхода из рекуператора до требуемых параметров, кВт·ч/год:

$$Q_{p,ym}^i = V \cdot \rho \cdot \frac{1}{3600} \cdot c_p \cdot (t_{np} - t_{n2}^i) \cdot \tau_i,$$

$$Q_{p,ym} = \sum_i Q_{p,ym}^i,$$

Количество сокращенного расхода электроэнергии, кВт·ч /год:

$$\Delta Q = Q_p - Q_{p,ym}$$

Потребление энергии на вращение ротора в приточной установке, кВт·ч:

$$N = N_{np} \cdot \tau,$$

где  $N_{np}$  – установленная мощность привода ротора, кВт;  $\tau$  – период работы системы вентиляции, час/год.

$$\tau = \sum_i \tau_i,$$

Стоимость энергосбережения, руб/год:

$$\mathcal{E} = \Delta Q \cdot \Pi^* - N \cdot \Pi_{эл}$$

где  $\Pi^*$  – стоимость электро или теплоэнергии в зависимости от типа используемого нагревателя, руб/(кВт·ч);  $\Pi_{эл}$  – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч

Период окупаемости рекуператора, год:

$$\tau = \frac{\Pi_{ум}}{\mathcal{E}},$$

Система, в которой в качестве калорифера догрева наружного воздуха используют электрический нагреватель окупается быстрее, чем с водонагревателем. После полной окупаемости рекуператор с электрическим нагревателем эксплуатация системы вентиляции будет более дорогой из-за того, что стоимость электроэнергии больше, чем тепла.

В результате расчета можно сделать следующие выводы [10]:

- Окупаемость пластинчатого теплообменника практически равна окупаемости роторного рекуператора. Устройство пластинчатого рекуператора проще, чем роторного, поскольку в нем нет движущихся частей. Благодаря надежной системе защиты от замерзания пластинчатый рекуператор не требует обслуживания.

- Системы с водонагревателем окупаются дольше, но намного дешевле в работе из-за более низкой стоимости тепловой энергии, чем системы с электронагревателем.

- Скорость окупаемости установки пропорциональна работе системы в течении дня.

- При повышении эффективности происходит сокращение срока окупаемости.

### Литература

1. Виноградов С.Н. Выбор и расчёт теплообменников (учебное пособие). Пензенский государственный университет, 2001. 100 с.
2. Остриков А.Н., Логинов А.В., Попов А.С., Болгова И.Н. Расчёт и проектирование теплообменников: учебник. Воронежская государственная технологическая академия, 2011. 444 с.
3. Кряклина И.В. Математическая модель и оптимизация параметров работы пластинчатого рекуператора // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269).
4. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. О. Г. Мартыненко и др.— М.: Энергоатомиздат, 1987.— 560 с: ил.
5. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т. 2 / Пер. с англ. под ред. О. Г. Мартыненко и др.— М.: Энергоатомиздат, 1987.— 352 с: ил.
6. Eric M. Smith. Thermal Design of Heat Exchangers: A Numerical Approach: Direct Sizing and Stepwise Rating – Wiley, 1997. – 418 p.



7. Иванчук И.В. К вопросу повышения энергетической эффективности жилых домов // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2151](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2151).

8. Фраас А., Оцисик М. Расчет и конструирование теплообменников. М.: Атомиздат, 1971. 356 с.

9. М.К. Беляев, О.В. Максимчук, Т.А. Першина. Экономика и управление системами теплоэнергоснабжения. Методические указания к курсовому проектированию – Волгогр. гос. архит. – строит. ун – т. – Волгоград: ВолГАСУ, 2008. – 38 с.

10. Kuppan Thulukkanam. Heat Exchanger Design Handbook – CRC Press, 2000. – 1119 p.

### References

1. Vinogradov S.N. Vybor i raschyot teploobmennikov (uchebnoe posobie) [Selection and calculation of heat exchangers]. Penzenskiy gosudarstvennyy universitet, 2001. 100 p.

2. Ostrikov A.N., Loginov A.V., Popov A.S., Bolgova I.N. Raschyot i proektirovanie teploobmennikov: uchebnik [Calculation and design of heat exchangers]. Voronezhskaya gosudarstvennaya tekhnologicheskaya akademiya, 2011. 444 p.

3. Kralina I. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269).

4. Spravochnik po teploobmennikam: V 2.h t. T. 1 [Reference book on heat exchangers: in 2 vol. Vol. 1]. Per. s angl. pod red. O. G. Martynenko i dr. M.: ENergoatomizdat, 1987. 560 p: il

5. Spravochnik po teploobmennikam: V 2.h t. T. 2 [Reference book on heat exchangers: in 2 vol. Vol. 2]. Per. s angl. pod red. O. G. Martynenko i dr. M.: ENergoatomizdat, 1987. 352 p: il.

6. Eric M. Smith. Thermal Design of Heart Exchangers: A Numerical Approach: Direct Sizing and Stepwise Rating – Wiley, 1997. – 418 p.



7. Ivanchuk I. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2151](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2151).
8. Fraas A., Ocisik M. Raschet i konstruirovaniye teploobmennikov [Calculation and design of heat exchangers]. M.: Atomizdat, 1971. 356 p.
9. M. K. Belyaev, O. V. Maksymchuk, T. A. Pershina. Ekonomika i upravlenie sistemami teploenergосnabzheniy. Methodical instructions to the course design state architect [Economics and management of heat supply systems]. builds. Univ. of Illinois. Volgograd, 2008. 38 p.
10. Kuppan Thulukkanam. Heat Exchanger Design Handbook. CRC Press, 2000. 1119 p.