

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ВОЗДУХА

Зайцев¹ О.Н., Ангелюк² И.П., Петренко² Д.М.¹ ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет им. И.И. Ишутина,
305040, Россия, ул. 50 лет Октября, 94, Курск,² ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
E-mail: ¹ zon071941@mail.ru, ² iliya.angeluck@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены существующие схемы рекуперации воздуха, аэродинамические и термодинамические процессы, протекающие при смешении воздушных потоков в рекуператорах различных типов, дан критический анализ конструктивных особенностей рекуператоров различного типа, а также возможности совершенствования и развития в данной сфере.

Предмет исследования: аэродинамические и термодинамические процессы, протекающие в рекуператорах воздуха.

Материалы и методы: изучение существующих схем рекуперации воздуха на основе научных статей, публикаций, патентов, научной литературы, а также нормативного законодательства в данной сфере.

Результаты: получены результаты по схемам рекуперации воздуха, техническим характеристикам, технологическим и конструктивным особенностям, эффективности теплообмена, а также КПД рекуператоров различного типа.

Выводы: проведен критический анализ существующих систем рекуперации воздуха в системах отопления и вентиляции зданий и сооружений, уровень эффективности данных систем, а также возможности совершенствования и развития рекуператоров воздуха наиболее перспективных типов.

Ключевые слова: рекуперация воздуха, аэро-, термо-, термодинамические процессы, совершенствование.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с общемировым ростом цен на энергоресурсы происходящим в последние годы задача сбережения тепловой энергии в системах вентиляции и отопления становится все более и более актуальна. Одним из наиболее эффективных методов экономии тепловой энергии являются рекуперация воздуха. Снижение эксплуатационных расходов в системах вентиляции и отопления существенно увеличивает популярность устройств.

В независимости от конструктивных особенностей, рекуператоры по своей сути являются теплообменниками. Это могут быть один или два теплообменника, в первом случае теплообмен происходит через стенки по средству обмена теплом приточных и вытяжных потоков воздуха, во втором случае происходит передача тепла некоему промежуточному теплоносителю в системе вытяжной вентиляции с последующей отдачей тепла в приточной вентиляционной системе.

В холодное время года главной задачей рекуператоров воздуха является нагрев приточного воздуха посредством вытяжного. Системы вентиляции, оборудованные рекуператорами воздуха, являются более экономичными и создают больше возможности для энергосбережения.

На сегодняшний день, несмотря на долгое изучение данной тематики, до сих пор существует ряд особенностей, не получивших должного освящения в специализированной литературе.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время можно отдельно выделить пять типов теплообменников рекуператоров: камерного типа, роторного типа, пластинчатого типа, тепловые трубки, а также модели с промежуточным теплоносителем [1]:

- камерные рекуператоры характеризуются наличием специальной камеры (внутреннего объема), при этом в роле теплообменника выступают стенки камеры;

- роторные рекуператоры характеризуются наличием специального вращающегося колеса (ротора), ось вращения которого совпадает с осью движения воздуха, а в роле теплообменника в данном случае выступают пластины ротора;

- пластинчатые рекуператоры характеризуются статичными пластинчатыми теплообменниками, по каналом которого движутся потоки вытяжного и приточного воздуха;

- рекуператоры воздуха на основе тепловых трубок характеризуются наличием специальных герметичных трубок, по которым циркулирует легкокипящее вещество, которое отдает и забирает тепло по мере циркуляции и смены агрегатного состояния;

- рекуператоры воздуха с промежуточным теплоносителем характеризуются наличием двух отдельных теплообменников, устанавливаемых в системах вытяжной и приточной вентиляции, соединенных между собой трубопроводами с теплоносителем.

Большинство рекуператоров работают как противоточные теплообменники. Принципиальная схема рекуператора с промежуточным теплоносителем представлена на рисунке 1.

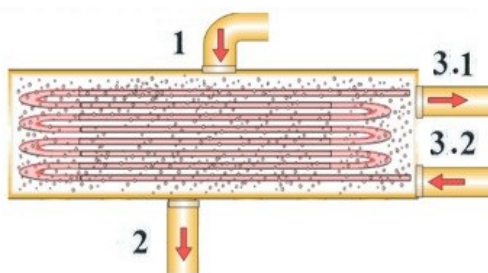


Рис. 1. Принципиальная схема рекуператора с промежуточным теплоносителем.

Fig. 1. Schematic diagram of the recuperator with intermediate coolant.

На рисунке: 1 – подача воздуха из системы приточной вентиляции с уличной температурой; 2 – подача воздуха после прохождения рекуператора с повышенной температурой; 3.1 и 3.2 подача и обратка теплоносителя на теплообменник в рекуператоре от системы вытяжной вентиляции.

Теплоноситель в данной системе может перемещаться на значительные расстояния, а значит и вентиляционные установки могут находиться на существенном расстоянии друг от друга. Как пример можно обозначить, что одна система будет находиться в подвале здания, а другая на кровле.

Отрицательной стороной данной системы является необходимость установки насоса для прокачки теплоносителя, значительное увеличение протяженности трубопроводов, что в свою очередь непосредственно влияет на удорожание системы в целом так и на повышение теплопотерь.

По типам направления движения потоков воздуха рекуператоры можно разделить на три основных типа:

1) рекуператоры с поперечным потоком, воздушные потоки вытяжной и приточной вентиляции циркулируют под перпендикулярным углом один к одному так чтобы они пересекались;

2) рекуператоры с параллельным потоком, при котором воздушные потоки вытяжной и приточной вентиляции циркулируют симметрично один к одному;

3) рекуператоры с вращающимся потоком, воздушные потоки вытяжной и приточной вентиляции находятся во вращение посредством ротора, обладающего значительной тепловой инерцией, приводящегося в действие посредством двигателя.

Нужно учитывать, что установка воздушных рекуператоров возможно только в системах с принудительной вентиляции. В системах с естественной вентиляцией или же гибридной системой установка рекуператоров воздуха невозможна.

Одним из наиболее распространенных типов рекуператоров воздуха, расположенных внутри помещения, являются пластинчатые рекуператоры. Их применяют в зданиях оснащенных системой механической вентиляции и они позволяют рекуперировать часть энергии вытяжного воздуха.

Данное устройство состоит из теплообменника, который осуществляет тепловой контакт удаляемого и приточного воздуха, фильтров для очистки воздуха, вентиляторов для механического побуждения воздушных потоков.

На практике они поставляются с завода в виде коробок с заглушками которые непосредственно и монтируются в систему вентиляции.

Максимальная же эффективность в таких системах достигается по средствам увеличения площади контакта воздушных потоков вытяжной и приточной вентиляции.

Принципиальная схема работы пластинчатого рекуператора воздуха представлена на рисунке 2.

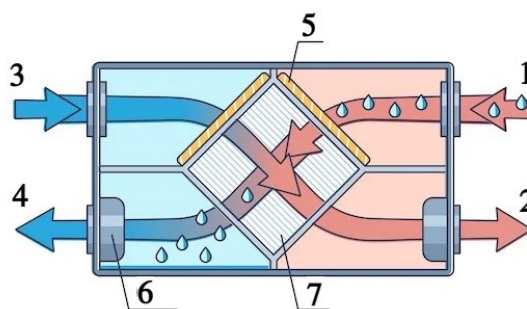


Рис. 2. Принципиальная схема пластинчатого рекуператора воздуха.

Fig. 2. Schematic diagram of a plate air recuperator.

На рисунке 2: 1 – подача воздуха из системы вытяжной вентиляции, комнатной температуры; 2 – подача воздуха в систему вентиляции после прохождения рекуператора с повышенной температурой; 3 – подача воздуха из системы приточной вентиляции с уличной температурой; 4 – подача воздуха в систему вытяжной вентиляции, с последующим удалением на улицу; 5 – фильтр для очистки и улучшения характеристик воздуха; 6 – вентилятор для механического побуждения воздушных потоков; 7 – теплообменник пластинчатого рекуператора воздуха.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность рекуператора является важнейшей его характеристикой. КПД определяет, насколько рекуператору удалось нагреть приточный воздух относительно идеального варианта. В данном случае под идеальным вариантом подразумевается нагревание приточного воздуха до температуры вытяжного воздуха, в реальности такой вариант невозможен.

Работа рекуператора характеризуется его эффективностью, которая, определяется как тепло, обмениваемое по отношению к максимуму, который мог бы быть обменен.

Коэффициент полезного действия рекуператора будет определяться по формуле, представленной ниже (формула 1):

$$\varepsilon = \frac{T_{п}-T_{н}}{T_{в}-T_{н}} \quad (1)$$

В формуле 1: $T_{п}$ - температура воздуха после прохождения рекуператора, °С; $T_{н}$ - температура воздуха в приточной системе вентиляции (наружная температура), °С; $T_{в}$ - температура воздуха в системе вытяжной вентиляции (до прохождения рекуператора), °С.

Главной идеей формулы 1 по определению коэффициента полезного действия воздушного рекуператора является контроль изменения явного тепла в воздушных потоках до и после рекуператора.

Формула 1 проста и удобна и широко применяется на практике, однако для более точного расчета необходимо применять формулу 2, которая в свою очередь учитывает изменение относительной влажности в воздушных потоках:

$$\varepsilon = \frac{I_{п}-I_{н}}{I_{в}-I_{н}} \quad (2)$$

В формуле 2: $I_{п}$ - энтальпия воздуха после прохождения рекуператора, кДж/кг; $I_{н}$ - энтальпия воздуха в приточной системе вентиляции (энтальпия наружного воздуха), кДж/кг; $I_{в}$ - энтальпия воздуха в системе вытяжной вентиляции (до прохождения рекуператора), кДж/кг.

Главной идеей формулы 2 по определению коэффициента полезного действия воздушного рекуператора является контроль изменения энтальпии в воздушных потоках до и после рекуператора. Данная формула позволяет получить более точные и корректные данные.

В связи с изменением наружной температуры как на протяжении дня, так и на протяжении сезона, может быть крайне полезно определить среднюю сезонную эффективность работы рекуператора.

Формула 3 позволяет определить сезонную эффективность работы воздушного рекуператора, в ней учитывается изменения наружной температуры на протяжении различного времени:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^H \varepsilon_i h_i}{H} \quad (3)$$

В формуле 3: h_i – количество часов, в течении которых эффективность рекуператора равна ε_i , час; H – является суммарным (общим) числом часов за исследуемый период (например период отопления).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Определим эффективность рекуператора воздуха в системе вентиляции исходя из следующих показателей, характерных для периода отопления в Крыму:

Исходные данные: $T_{п}$ - температура воздуха после прохождения рекуператора, (+ 12 °С); $T_{н}$ - температура воздуха в приточной системе вентиляции (наружная температура), (- 1 °С); $T_{в}$ - температура воздуха в системе вытяжной вентиляции (до прохождения рекуператора), (+ 21 °С).

$$\varepsilon = \frac{12 + 1}{21 + 1} * 100\% = 59 \%$$

Исходя из типовых исходных данных, можно сделать вывод, о том, что КПД рекуператора воздуха будет 59%.

Ниже представлен рисунок 3, по которому можно ориентировочно определить температуру воздуха после прохождения пластинчатого рекуператора в зависимости от температуры наружного воздуха.

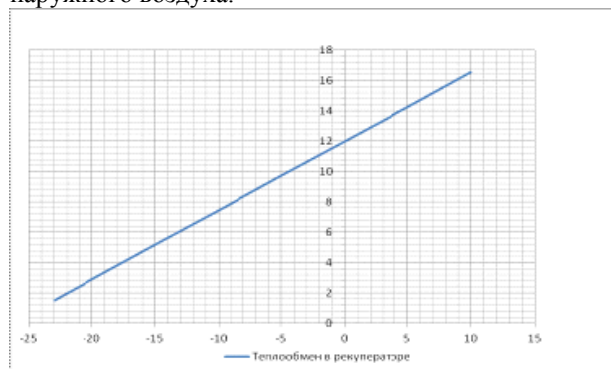


Рис. 3. График зависимости температуры воздуха после прохождения пластинчатого рекуператора от температуры наружного воздуха.

Fig. 3. Graph of the dependence of the air temperature after passing through the plate recuperator on the outside air temperature.

Исходя из графика можно сделать вывод о том, что с увеличением температуры наружного воздуха, интенсивность процесса передачи тепла уменьшается, в связи с уменьшением разницы температур между воздухом приточной и вытяжной системы вентиляции.

В связи со значительными сезонными перепадами наружной температуры проведем расчеты для разных коэффициентов полезного действия рекуператора воздуха на протяжении сезона, и оформим полученные данные в рисунок 4.



Рис. 4. График зависимости эффективности рекуператора воздуха от наружной температуры

Fig. 4. Graph of the dependence of the efficiency of the air recuperator on the outside temperature.

Как можно видеть из графика 4 эффективность пластинчатого рекуператора воздуха возрастает по мере увеличения температуры наружного воздуха. В целом системы вентиляции с рекуператорами воздуха, с учетом энергии необходимой на работу калорифера, достигают максимальной эффективности при значительных разницах наружной и внутренних температур.

Применение рекуператоров позволяет существенно повысить энергосбережение и тем самым снизить эксплуатационные затраты на функционирование системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного критического анализа систем рекуперации воздуха можно сделать вывод о эффективности их применения в вентиляции, за счет уменьшения необходимых затрат энергии на нагрев приточного воздуха за счет тепла удаляемого воздуха.

2. Проведен анализ конструктивных особенностей воздушных рекуператоров различных типов, определены их особенности, а также определены вентиляционные системы, подходящие для их применения.

3. Проведен анализ формул, применяемых для определения коэффициента полезного действия рекуператоров в зависимости от температур воздуха, энтальпии воздуха, а также сезонной неравномерности температуры наружного воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ястребов А.В. Зекин В.Н. Статья «Рекуперация воздуха: виды, принципы работы, функции» Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» №4 (49) Т.1 Апрель 2022 г.
2. А.С. Ильин Повышение энергетической эффективности систем вентиляции и

кондиционирования объектов ЖКХ» «Сибирский Федеральный Университет», Красноярск, 2017 год.

3. Ю.Д. Сибикин. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха 2015 год.

4. Zaycev O.N. Angeluck I.P., Toporen S.S. Experimental study of the aerodynamic resistance of a conical-spiral heat exchanger of the outgoing flue gases // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – №698 – 055033.

5. G.B. Gharehpetian. S. Mohammad Mousavi Agah. 2017. Distributed generation systems.

6. Yusuf BaşoğulOnur. Vahip GülerAli Keçebaş. Binary geothermal power plant. Thermodynamic Analysis and Optimization of Geothermal Power Plants, 2021

7. Egorov S. A., Zaycev O. N., Angeluck I.P., Sivachenko Yu. A. Thermodynamic characteristics of the flue gas heat recuperator of a combined autonomous heat generating unit // AIP Conference Proceedings 2434. – 2022. – 020023 <https://doi.org/10.1063/5.0091673>.

8. Н.И.Ватин, М.В. Смотракова, Технико-экономическое обоснование применения систем вентиляции с роторной рекуперацией тепла. Санкт-Петербург 2003 год.

9. И.Ю. Игнаткина. Система рекуперации теплоты с адаптивной рециркуляцией вытяжного воздуха. Вестник ВНИИМЖ №1(33)-2019

10. Вдовичев А.А. Численное исследование теплопереноса и аэродинамики в перекрестно-точном рекуператоре открытого типа // Вестник Евразийской науки. 2022. №2. Режим доступа: elibrary.ru/download/elibrary_49089452_31549355.pdf f (дата обращения: 30.08.2022).

REFERENCES

1. Yastrebov A.V. Zekin V.N. Article “Air recovery: types, principles of operation, functions” International scientific journal “BULLETIN OF SCIENCE” No. 4 (49) Vol. 1 April 2022

2. A.S. Ilyin Increasing the energy efficiency of ventilation and air conditioning systems for housing and communal services” “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk, 2017.

3. Yu.D. Sibikin. Heating, ventilation and air conditioning 2015.

4. Zaycev O.N. Angeluck I.P., Toporen S.S. Experimental study of the aerodynamic resistance of a conical-spiral heat exchanger of the outgoing flue gases // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – №698 – 055033.

5. G.B. Gharehpetian. S. Mohammad Mousavi Agah. 2017. Distributed generation systems.

6. Yusuf BaşoğulOnur. Vahip GülerAli Keçebaş. Binary geothermal power plant. Thermodynamic Analysis and Optimization of Geothermal Power Plants, 2021

7. Egorov S. A., Zaycev O. N., Angeluck I.P., Sivachenko Yu. A. Thermodynamic characteristics of the flue gas heat recuperator of a combined autonomous heat generating unit // AIP Conference Proceedings

2434. – 2022. – 020023
<https://doi.org/10.1063/5.0091673>.

8. N.I.Vatin, M.V. Smotrakova, Feasibility study of the use of ventilation systems with rotary heat recovery. St. Petersburg 2003.

9. I.Yu. Ignatkina. Heat recovery system with adaptive exhaust air recirculation. VNIIMZH Bulletin No. 1(33)-2019

10. Vdovichev A.A. Chislennoe issledovanie teploperenosa i aerodinamiki v perekrestno-tochnom rekuperatore otkry'togo tipa [CFD study of heat transfer and aerodynamics in a cross-precision open-type heat exchanger] // Bulletin of Eurasian Science. 2022. №2. Access: elibrary.ru/download/elibrary_49089452_31549355.pdf

CRITICAL ANALYSIS OF EXISTING AIR RECOVERY SYSTEMS

Zaitsev¹ O.N., Angeluck² I.P., Petrenko² D.M.

¹SouthWest State University, 50 Let Oktyabrya Street, 94, Kursk, 305040

²V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295050
E-mail: ¹zon071941@mail.ru, ²iliya.angeluck@yandex.ru

Abstract. The article examines existing air recovery schemes, aerodynamic and thermodynamic processes that occur when air flows are mixed in recuperators of various types, provides a critical analysis of the design features of recuperators of various types, as well as opportunities for improvement and development in this area.

Subject: aerodynamic and thermodynamic processes occurring in air recuperators.

Materials and methods: study of existing air recovery schemes based on scientific articles, publications, patents, scientific literature, as well as regulatory legislation in this area.

Results: results were obtained on air recovery schemes, technical characteristics, technological and design features, heat exchange efficiency, as well as the efficiency of various types of recuperators.

Conclusions: a critical analysis of existing air recovery systems in heating and ventilation systems of buildings and structures was carried out, the level of efficiency of these systems, as well as the possibility of improving and developing air recuperators of the most promising types.

Key words: air recovery, aero-, thermo-, thermodynamic processes, improvement.