

Кутний Б.А., к.т.н., доцент
Новах Б.Р., асистент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

РЕГЕНЕРАТИВНИЙ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОР ДЛЯ ПРИПЛВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Роботу присвячено огляду існуючих теплоутилізаторів, що застосовуються в припливних енергоефективних системах вентиляції житлових приміщень, виділено їх переваги та недоліки. Досліджено можливість зменшення витрат теплоти на вентиляцію будівель при включенні до припливної установки з пластинчастим рекуператором теплоаккумулятора фазового переходу сезонного типу. Описано режими його роботи, наведено схему роботи та формули, за якими можна попередньо визначити його потребу в теплоакмулюючому матеріалі та габаритні розміри. Установлено температурні режими роботи регенератора та рекуператора. Нині для утилізації теплоти витяжного повітря застосовують регенеративні обертові теплообмінники, теплообмінники з проміжним теплоносієм, пластинчасті рекуператори, утилізатори з тепловими трубами, рекуперативні теплообмінники. Застосування в системах припливно-витяжної вентиляції утилізаторів теплоти дозволить майже вдвічі скоротити витрати палива на опалення та вентиляцію, використовуючи 50 – 70% теплоти витяжного повітря для нагріву припливного.

Ключові слова: теплоаккумулятор, енергоефективна система вентиляції, фазовий перехід.

Кутний Б.А., к.т.н., доцент
Новах Б.Р., асистент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

РЕГЕНЕРАТИВНИЙ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОР ДЛЯ ПРИТОЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Работа посвящена обзору существующих теплоутилизаторов, применяемых в приточных энергоэффективных системах вентиляции жилых помещений, выделены их преимущества и недостатки. Исследована возможность уменьшения расхода теплоты на вентиляцию зданий при включении в приточную установку с пластинчатым рекуператором теплоаккумулятора фазового перехода сезонного типа. Описаны режимы его работы, приведена схема работы и формулы, по которым можно предварительно определить его потребность в теплоаккумулирующем материале и габаритные размеры. Установлены температурные режимы работы регенератора и рекуператора. Ныне для утилизации теплоты вытяжного воздуха применяют регенеративные вращающиеся теплообменники, теплообменники с промежуточным теплоносителем, пластинчатые рекуператоры, утилизаторы с тепловыми трубами, рекуперативные теплообменники. Применение в системах приточно-вытяжной вентиляции утилизаторов теплоты позволит почти вдвое сократить расход топлива на отопление и вентиляцию, используя 50 – 70% тепла вытяжного воздуха для нагрева приточного.

Ключевые слова: теплоаккумулятор, энергоэффективная система вентиляции, фазовый переход.

REGENERATIVE LATENT HEAT ENERGY STORAGE DEVICE FOR AIR SUPPLY VENTILATION UNIT

The article deals with a review of the existed heat recovery units that are installed in energy efficient air supply ventilation systems for the residential premises, highlighting their advantages and disadvantages and describing the principle of their operation. It investigating the possibility of reducing the consumption of heat for the ventilation of buildings when you cut into the air supply unit with plate heat exchanger seasonal latent heat thermal energy storage device.

It is description the modes of operation, a scheme of work and formulas, in which you can pre-determine the mass of phase-change material and its dimensions. The article deals with many different commercial recovery units for transferring energy from hot medium space to lower one: recuperators or cross plate heat exchanger, regenerators, heat pipe exchanger, thermal wheel or rotary heat exchanger, run around coil.

It is determined the temperature regimes of ventilation system with series connection of a regenerator and recuperate. It is described in short existed energy-efficient ventilation system built on the base of cross plate heat exchanger and ground heat exchangers. An application of heat utilizer in ventilation systems with heat recovery will almost halve the fuel consumption for heating and ventilation by using 50 – 70% heat of the room air for heating up supply air. A new solution in the form of effective latent heat thermal energy storage device was proposed. Latent heat thermal energy storage device is a certain capacity size which filled by containers with phase-change material (PCM).

At the modern level of science and technology there are large variety of types and designs of heat storage devices due to a wide range of applications. A variety of methods and techniques of accumulation leads to various technical and constructive solutions..

The most widely used liquid heat storage devices where heat accumulation occurs due to use heat capacity of operationg environments, but for powerful systems these devices are too big. Therefore is very importance to use efficient latent heat thermal energy storage device which use latent heat of melting and crystallization working substance. It has the advantages of high storage density and the isothermal nature of the storage process.

The article shows a scheme of ventilation system with regenerative seasonal phase change heat storage device. In winter cold air is drawn through the underground duct to the heat storage, there is heated due to a heat containers with a phase change material (discharge mode), and then entered in the recuperator. In the recuperator this air is reheating due to heat of waste air from the room.

In summer hot air is supplied to the heat storage device and cooled (charging mode). That type of system in the house constantly maintain a comfortable temperature. Only sometimes it is necessary to use low-power air conditioners or heaters to maintain the required temperature.

The advantage of the recovery is that it saves energy, and as a consequence, savings in the operation of the ventilation system. The disadvantage is initial investment for the installation of heat exchanger.

Keywords: *heat storage, energy efficient ventilation system, phase change.*

Вступ. Вентиляційне повітря, що видаляється з приміщення, є джерелом низькопотенційної теплоти. У житлових будинках вентиляція здійснюється за рахунок природного спонукання руху повітря. В енергоефективних будівлях застосовується складніша система: замість вікон з можливістю провітрювання використовуються звукоізолюючі герметичні склопакети, а припливно-витяжна вентиляція приміщень здійснюється централізовано через установку рекуперації тепла [1]. Додаткового підвищення енергоефективності можна досягти встановленням різного типу теплоаккумуляторів.

Нині для утилізації теплоти витяжного повітря застосовують регенеративні обертові теплообмінники, теплообмінники з проміжним теплоносієм, пластинчасті рекуператори, утилізатори з тепловими трубами, рекуперативні теплообмінники. Застосування в системах припливно-витяжної вентиляції утилізаторів теплоти дозволить майже вдвічі скоротити витрати палива на опалення та вентиляцію, використовуючи 50 – 70% теплоти витяжного повітря для нагріву припливного.

Перевагою рекуперації є економія енергії і, як наслідок, економія коштів на експлуатацію системи вентиляції. Недоліком є необхідні початкові вкладення на установку рекуператора. Робота має зв'язок із основними положеннями законів України «Про енергозбереження» та «Про альтернативні види палива».

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Відомі такі конструкції теплоутилізаторів [2, 3]: пластинчасті рекуператори; роторні рекуператори; рекуператори з проміжним теплоносієм; стаціонарні камерні регенератори; теплові труби [4, 5]. Сьогодні широкого розповсюдження набувають різноманітні конструкції ґрунтових регенеративних теплообмінників [6, 7].

На сучасному рівні розвитку науки і техніки відома значна кількість різноманітних видів та конструкцій теплових акумуляторів, що обумовлено широким спектром сфер застосування акумуляторів тепла. Безліч методів і способів акумуляування приводить до різних технічних та конструктивних рішень [8].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Для перевірки можливості роботи акумулятора фазового переходу (АФП) сезонного типу в системах вентиляції з теплоутилізацією необхідно визначитися з його конструкцією, температурним режимом, схемою й принципом роботи. Важливим аспектом є вибір робочого тіла, що буде змінювати свій агрегатний стан у необхідному діапазоні температур.

Постановка завдання. Метою роботи є огляд існуючих теплоутилізаторів, а також розроблення конструкції АФП і формул, за якими можна попередньо визначити необхідну кількість теплоакуюючого матеріалу.

Основний матеріал і результати. Розглянемо більш детально вищеперелічені конструкції теплоутилізаторів.

1. Пластинчасті рекуператори (рис. 1, а) – витяжне та припливне повітря проходить з обох боків ряду пластин, через які відбувається теплопередача. У пластинчастих рекуператорах при низьких температурах зовнішнього повітря може утворюватися конденсат, тому вони обладнані конденсатовідвідниками. Конденсатозбірники мають водяний затвор, що не дозволяє вентилятору захоплювати і подавати воду в припливний повітропровід.

Через випадання конденсату існує ризик утворення льоду в холодну пору року, що потребує застосування заходів для запобігання цьому негативному явищу. Пластинчасті рекуператори характеризуються високою ефективністю (50 – 80%), є найпоширенішими й відносно дешевими, широко використовуються на малих підприємствах, у невеликих будівлях, котеджах, магазинах.

2. Роторні рекуператори (рис. 1, б) – теплота передається ротором, що обертається між витяжним та припливним каналами. Це відкрита система, і тому можливе переміщення бруду й запахів із витяжного повітря в припливне (близько 2%), унаслідок чого їх не використовують для роботи в системах вентиляції, що обслуговує чисті та стерильні приміщення. Може відбуватися й перенесення з повітряним потоком бактерій та їх розмноження на акумулюючій насадці. Рівень рекуперації теплоти може регулюватися швидкістю обертання ротора.

Вони мають найвищу ефективність (75 – 90%), використовуються переважно на великих промислових підприємствах, цехах, великих будівлях. Порівняно з пластинчастими їм характерний менший аеродинамічний опір та відсутність необхідності безперервного видалення конденсату.

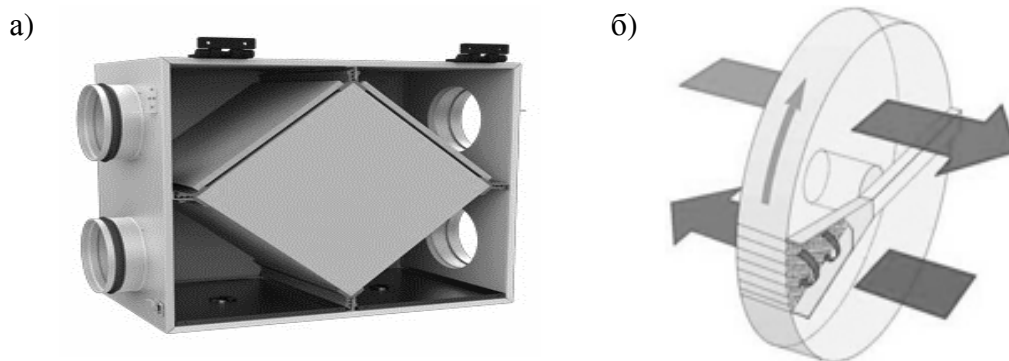


Рисунок 1 – Перехресний пластинчастий та роторний рекуператори

3. Рекуператори з проміжним теплоносієм – вода або водногліколевий розчин циркулює між двома теплообмінниками, один з яких розташований у витяжному каналі, а інший – у припливному. Теплоносій нагрівається повітрям, що видаляється, а потім передає теплоту припливному повітрю. Теплоносій циркулює в замкнутій системі, і відсутній ризик передачі забруднень з витяжного повітря в припливне. Теплообмінники можуть знаходитися на значній відстані один від одного.

Передача теплоти може регулюватися зміною швидкості циркуляції теплоносія. Ці рекуператори мають невелику ефективність (45 – 60%). Вони використовуються у тому випадку, якщо повітря, що видаляється, дуже забруднене або токсичне [9]. Недоліками є додаткові витрати енергії на переміщення проміжного теплоносія та необхідність ізолювати трубопроводи теплоносіїв для зменшення тепловтрат.

4. Стационарні камерні регенератори – камера розділяється на дві частини заслінкою. Витяжне повітря нагріває одну частину камери, потім заслінка змінює напрям повітряного потоку таким чином, що припливне повітря нагрівається від нагрітих стінок камери. Забруднення і запахи можуть передаватися з повітря, яке видаляється, в припливне. Характеризується високою ефективністю (70 – 80%). Широкого застосування не одержали, оскільки важко забезпечити необхідну герметичність повітряної заслінки та значні габаритні розміри.

5. Теплові труби. Цей регенератор складається із замкнутого простору, що під вакуумом заповнюється деякою кількістю легкокиплячої рідини, яка випаровується при нагріванні повітрям, що видаляється. Коли припливне повітря проходить уздовж трубок, пара конденсується і знову перетворюється в рідину. Має невисоку ефективність (50 – 70%). Теплові труби збираються в пучки, утворюючи теплообмінник.

Недоліками є невелика довжина й неможливість розділення повітроохолоджувача та повітрянагрівача. Також для запобігання корозії й утворення газів, що

конденсуються та зменшують тепловіддачу, необхідно суворо дотримуватися рекомендацій щодо використання матеріалу корпусу і теплоносія. До переваг можна віднести надійність, простоту та відсутність рухомих деталей і вузлів.

6. Відомі конструкції регенеративних ґрунтових теплообмінників (ГТО), а саме на сьогодні існують два основні способи влаштування ґрунтового теплообмінника:

а) трубний – це система трубопроводів, прокладених у ґрунті від повітрозабірників до вентиляційної системи будинку на глибині, не меншій ніж 1 м;

б) гравієвий – повітря подається до будинку, попередньо проходячи через підземний, ізольований від навколишнього ґрунту пласт гравію.

Таким чином, повітря в теплообмінниках може підігрітися взимку на 12,5 °С, а влітку охолотитися приблизно на 8,5 °С [6]. Перевагою гравійного теплообмінника є те, що, крім нагрівання або охолодження, повітря попередньо фільтрується в шарі гравію. Більшість типів ґрунтових теплообмінників можуть успішно працювати в поєднанні із центральними рекуператорами.

Їх недоліками є те, що у звичайних земляних контурах низька теплопровідність землі сприяє локальному зниженню температури, внаслідок чого для відбору необхідної теплоти потрібна велика площа теплообмінної поверхні. Є й інші недоліки, а саме: менша теплоємність ґрунту порівняно з водою, втрати теплоти в навколишнє середовище під час зарядки. Недолік звичайного ґрунтового теплового акумулятора в тому, що він потребує значного простору для розташування, а при віддачі тепла його температура знижується. У зимовий період також спостерігається поглиблене промерзання ґрунту, що негативно впливає на флору і фауну присадибної ділянки.

Відома енергоефективна схема системи вентиляції з послідовним включенням ґрунтового сезонного теплообмінника, пластинчастого перехресного рекуператора та повітряного теплового насосу [7]. Її головними недоліками є досить значні капітальні затрати на вище наведені теплообмінники, аеродинамічний опір ГТО, витрати енергії на роботу компресора теплового насоса.

Основну класифікацію видів і конструкцій теплових акумуляторів наведено нижче:

- теплові акумулятори з твердим теплоакумуючим матеріалом (ТАМ);
- теплові акумулятори з ТАМ, що плавиться;
- рідинні акумулятори тепла;
- парові акумулятори тепла;
- термохімічні акумулятори;
- теплові акумулятори з електронагрівальним елементом.

Найбільшого поширення набули рідинні акумулятори явної теплоти, де накопичення теплової енергії відбувається за рахунок нагрівання або охолодження теплоємних середовищ, однак для потужних систем такі пристрої мають великі розміри. Тому досить актуальним є використання ефективних акумуляторів теплоти фазового переходу (АФП), які використовують приховану теплоту плавлення та кристалізації робочої речовини. Ці апарати мають високу енергоємність та відносну ізотермічність процесу нагрівання та охолодження теплоносія.

У лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики зібрано експериментальну установку АФП, що являє собою певний об'єм з розміщеними у ньому герметичними контейнерами-ємностями, заповненими теплоакумуючою речовиною. При цьому режим зарядки або акумуляування теплоти відбувається переважно в теплий період року. Закумуляоване тепло використовується протягом опалювального періоду для нагрівання припливного повітря.

Нижче наведено схему (рис.2) та опис режимів роботи вентиляційної установки з регенеративним теплоаккумулятором фазового переходу сезонного типу. Взимку

холодне повітря надходить по підземному повітропроводу до теплоакумулятора, нагрівається там за рахунок тепла ємностей з матеріалом фазового переходу (режим розрядки), і потім надходить у рекуператор. У ньому відбувається догрівання цього повітря за рахунок тепла відпрацьованого внутрішнього повітря з приміщення.

Улітку гаряче повітря надходить до теплоакумулятора й охолоджується (режим зарядки). Завдяки такій системі в будинку постійно підтримуються комфортні умови. Лише іноді буває необхідним використання малопотужних нагрівачів або кондиціонерів для підтримання необхідної температури повітря.

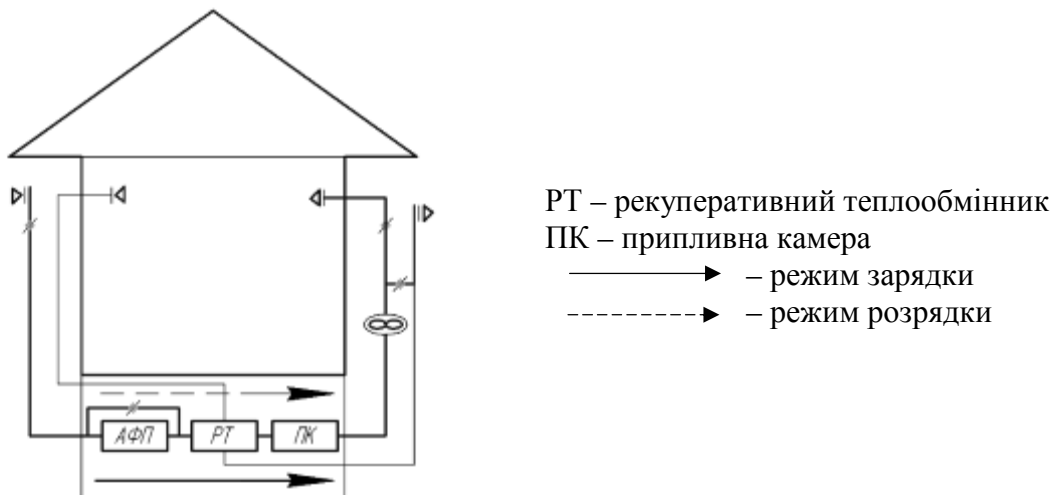


Рисунок 2 – Схема застосування АФП

З умов експлуатації рекуператора оптимальна температура зовнішнього повітря для уникнення утворення конденсату та обмерзання повинна бути на рівні 0°C. Орієнтовну масу води, яка необхідна для нагріву припливного повітря до 0°C протягом опалювального періоду, знаходимо за формулою, кг,

$$m_e = \frac{Q_{нов}}{c_e \cdot t_e + r + c_l \cdot t_l} \quad (1)$$

де $Q_{нов}$ – сумарна кількість теплоти;

$c_e = 4,2$ – теплоємність води, кДж/(кг·°C);

t_e – початкова температура води, приймаємо на рівні 20°C;

$r = 336$ – прихована теплота плавлення, кДж/кг;

$c_l = 4,2$ – теплоємність льоду, кДж/(кг·°C);

t_l – температура льоду, приймаємо такою, що дорівнює $t_{сер.міс.}$, °C;

Сумарна кількість теплоти, котра повинна акумулюватися в регенераторі, визначається за формулою, кДж,

$$Q_{нов} = c_{нов} \cdot \rho_{нов} \cdot L_{нов} \cdot (0 - t_{сер.міс.}) \cdot z \quad (2)$$

де $c_{нов} = 1,005$ – теплоємність повітря, кДж/(кг·°C);

$\rho_{нов}$ – густина повітря, кг/м³;

$L_{нов}$ – об'ємні витрати повітря, м³/год;

$t_{сер.міс.}$ – середньомісячна температура зовнішнього повітря, °C;

z – період часу, протягом якого працює вентиляційна установка.

У жовтні та квітні зовнішнє повітря надходить відразу у рекуператор, оскільки середня температура цього повітря вища за 0°C. У листопаді процес нагрівання відбувається за рахунок теплоти, котру віддає вода. У січні припливне повітря буде нагріватися за рахунок теплоти води, прихованої теплоти кристалізації та теплоти, яка буде віддаватися льодом при його охолодженні.

Висновки. Проаналізовано існуючі енергозберігаючі системи вентиляції з використанням рекуператорів і ґрунтових теплообмінників. Запропоновано нове рішення у вигляді ефективного акумулятора фазового переходу. Наведено формули для визначення маси теплоакуючого матеріалу та кількості теплоти, необхідної для нагріву повітря в системі вентиляції. Розглянуто схему й режими роботи акумулятора для різних періодів року. Таким чином, установки з теплоутилізацією дозволяють знизити витрати енергії на нагрівання припливного повітря.

Література

1. Пасивний будинок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Пасивний_будинок.
2. Новые технологии в теплоснабжении и строительстве: сборник работ аспирантов и студентов – сотрудников научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки». – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – Вып.8. – 274 с.
3. Борщ О. Б. Энергобережения в системах теплогазопостачання, вентиляції та кондиціонування повітря / О. Б. Борщ. – Полтава : ПолтНТУ, 2009. – 116 с.
4. Heat pipes and heat pipe exchangers for heat recovery systems / L. L. Vasiliev, L. P. Grakovich, V. G. Kiselev, Yu. Matveev, D. K. Khrustalev // Journal of Heat Recovery Systems. – 1984. – Vol 4; Issue 4. – P. 227 – 233.
5. Рей Д. Экономия энергии в промышленности: справочное пособие для инженерно-технических работников / Д. Рей; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 203 с.
6. Cremers В. Е. Heat recovery ventilation with closed-loop ground heat exchange / В. Е. Cremers // REHVA Journal. – 2013. – № 8. – P. 41 – 46.
7. Ґрунтовий воздушний теплообмінник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vecotech.com.ua/podbor-e-montazh-dimohodov/626.html>.
8. Thermal energy storage – overview and specific insight into nitrate salts for sensible and latent heat storage / N. Pflieger, Th. Bauer, C. Martin, M. Eck, A. Wörner // Beilstein J. Nanotechnol. – 2015. – № 6. – P. 1487 – 1497.
9. Карпус Е. Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха / Е. Е. Карпус. – М. : Стройиздат, 1986. – 268 с.

© Кутний Б.А., Новах Б.Р.
Надійшла до редакції 02.03.2016