

## **Экспериментальные исследования регенератора тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока\***

**А.А. ЗАХАРОВ, М.И. НИЗОВЦЕВ**

*Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет*

В современных зданиях в связи с повышением требований к теплозащитным характеристикам ограждающих конструкций значительно снизилась инфильтрация наружного воздуха во внутренние помещения, что нарушает процессы их естественной вентиляции. Результатом становится высокая влажность воздуха и нарушение здорового микроклимата. Как показывают энергетические обследования в современных многоквартирных жилых зданиях потери тепла на нагрев вентиляционного воздуха могут составлять до 50 % в общем тепловом балансе затрат тепла на отопление. Поэтому проблемы энергосберегающей вентиляции жилых помещений становятся особенно актуальными в настоящее время. В статье приведены результаты экспериментальных исследований тепловых параметров работы регенеративного теплоутилизатора с изменяющимся направлением воздушного потока. Такое устройство позволяет организовать энергосберегающую вентиляцию в отдельных квартирах многоэтажного жилого дома. Получены распределения температуры по воздуху и стенкам каналов насадки в различные моменты времени. Определена зависимость средней тепловой эффективности аппарата от расхода вентиляционного воздуха. Полученные результаты могут быть использованы для верификации расчетных математических моделей регенераторов тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока, и для дальнейшего совершенствования конструкций таких аппаратов.

**Ключевые слова:** воздухо-воздушный теплообменник, регенератор тепла, теплообменная насадка, энергосберегающая вентиляция, экспериментальные исследования, распределение температур, температурная эффективность, экспериментальная установка.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В рамках Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» к 2020 году поставлена задача значительного снижения энергозатрат на 40 % к уровню 2007 года. Особенно остро проблема стоит в жилищном секторе. Широкие возможности снижения энергопотребления зданий связаны с совершенствованием систем вентиляции с утилизацией тепла и холода вентиляционного воздуха [1].

В современных многоквартирных жилых зданиях потери тепла на нагрев вентиляционного воздуха составляют более 50 % в общем тепловом балансе энергозатрат на отопление (рис. 1) [1]. Проблема вентиляции жилых и производственных зданий стала особенно острой в связи с повышением теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий, с высокой герметичностью современных окон и ростом коммунальных тарифов. Современные окна и двери обладают высокими теплоизоляционными характеристиками, однако почти полностью перекрывают приток свежего воздуха, который традиционно обеспечивался инфильтрацией через неплотности дверных и оконных проемов.

Установка дополнительных воздушных клапанов в большинстве случаев оказывается малоэффективной с точки зрения вентиляции и не решает вопросы энергосбережения. В больших офисных и производственных зданиях эта проблема может быть решена с использованием крупных центральных систем вентиляции и кондиционирования. В коттеджах и многоквар-

---

\* Статья получена 18 ноября 2013 г. Повторно после исправлений 14 января 2014 г.

тирных домах она остается пока практически нерешенной, в связи с отсутствием относительно дешевых устройств для энергосберегающей вентиляции таких объектов. В настоящее время по своему исполнению в многоэтажных жилых зданиях теплоутилизаторы могут быть центральными на все здание или группу квартир и индивидуальными, поквартирными, которые имеют ряд преимуществ.



Рис. 1. Распределения расхода тепла на отопление современного многоквартирного жилого дома

В настоящее время наиболее широко применяются следующие типы воздушных утилизаторов тепла и холода вентиляционного воздуха: рекуперативного типа на базе пластинчатых воздухо-воздушных теплообменников [2], регенеративные вращающейся [3], с промежуточным теплоносителем [4]. В то же время активно продолжают работы по разработке новых перспективных конструкций таких аппаратов [5–9]. При сходных массогабаритных показателях наибольшей энергетической эффективностью обладают регенеративные вращающейся теплоутилизаторы (80–95 %), далее следуют рекуперативные (до 65 %) и менее эффективны теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем (45–55 %) [4].

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований работы воздушного теплоутилизатора УВРК-50К [6] с целью получения распределения температуры по воздуху и насадке и определения тепловой эффективности при различных расходах воздуха.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка включала в себя прибор УВРК-50К (рис. 2), измерительные датчики, компьютерную систему сбора и обработки информации. УВРК-50К состоял из 2 блоков канальной насадки (рис. 3) длиной 130 мм и 50 мм (общая длина насадки  $L$  без учета промежутка между блоками составляла 180 мм), наружным диаметром 198 мм с размерами прямоугольных каналов  $3,25 \times 1,5$  мм и толщиной стенки между каналами 0,5 мм, реверсивным вентилятором марки SUNONA2175-НВТ, корпуса из пластмассы, заслонки со стороны улицы и воздушного фильтра со стороны помещения. При установке аппарата в стену промежуток между стеной и корпусом аппарата заполнялся теплоизоляцией.

Для измерения температуры в канальную насадку из полипропилена (рис. 2) было установлено 7 хромель-капельных термопар с диаметром проволоки 0,4 мм. Четыре термопары установлены непосредственно в воздушных каналах насадки в сечениях:  $x/L = 0, 0,72, 0,86, 1$  (места установки условно показаны ● на рис. 2,  $x$  – продольная координата с началом отсчета от внутренней поверхности насадки со стороны помещения). Дополнительно три термопары были установлены в стенку между каналами в сечениях  $x/L = 0, 0,86$  и 1 (места установки условно показаны ✕ на рис. 2). Температурные датчики подключались к многоканальному АЦП, который был соединен с персональным компьютером (ПК). На ПК было установлено специальное программное обеспечение, позволяющее проводить опрос термопар, осреднять их показания за выбранный интервал времени и сохранять в памяти ПК.

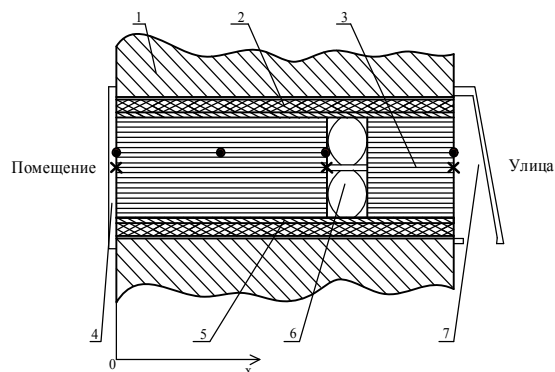


Рис. 2. Установка регенератора в наружную стену здания:

1 – стена здания; 2 – теплоизоляция; 3 –канальная насадка; 4 –воздушный фильтр; 5 – корпус регенератора; 6 – реверсивный вентилятор; 7 – заслонка

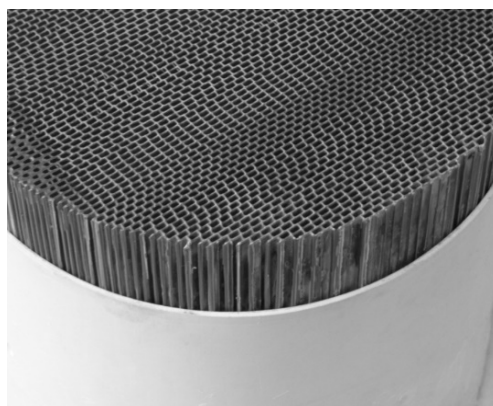


Рис. 3. Канальная насадка

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе экспериментов были определены температуры воздуха в разных сечениях насадки для различных режимов работы регенератора. Измерения проводились при температуре наружного воздуха  $t_{ул} = 1,5^\circ\text{C}$  и температуре в помещении  $t_{пом} = 24,5^\circ\text{C}$ .

На рис. 4 приведено изменение распределения безразмерной температуры воздуха в различных сечениях насадки с течением времени при среднем расходе воздуха  $G = 50,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$\overline{t_{bi}} = \frac{(t_{bi} - t_{ул})}{(t_{пом} - t_{ул})}, \quad (1)$$

где  $\overline{t_{bi}}$  – приведенная безразмерная температура воздуха в  $i$ -м сечении насадки,  $t_{bi}$  – температура воздуха в  $i$ -м сечении насадки. Средний расход воздуха определялся, как среднее значение между расходами воздуха со стороны помещения и со стороны улицы.

На рис. 4 видны циклические колебания температуры: при движении воздушного потока из помещения температура воздуха в различных сечениях насадки повышалась, а при движении воздушного потока с улицы – понижалась. При этом следует отметить некоторую разницу в величинах амплитуд колебаний температуры воздуха в крайних сечениях насадки: со сторо-

ны помещения амплитуда изменения температуры воздуха составляла около 3 °С, а со стороны улицы была около 5 °С. Это было связано с тем, что расход воздуха через аппарат из помещения был на 25 % больше, чем расход воздуха с улицы, что было вызвано особенностью конструкции реверсного вентилятора.

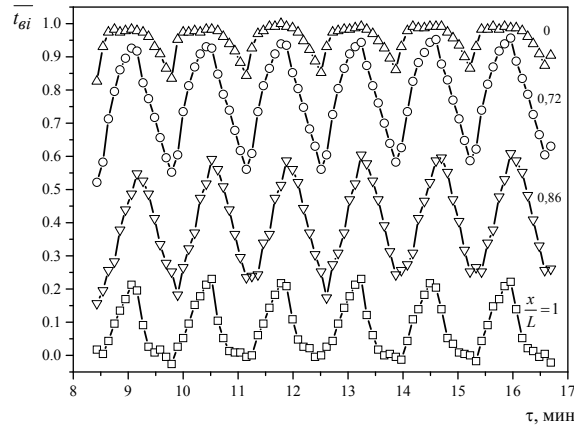


Рис. 4. Изменение безразмерной температуры воздуха в разных сечениях насадки с течением времени

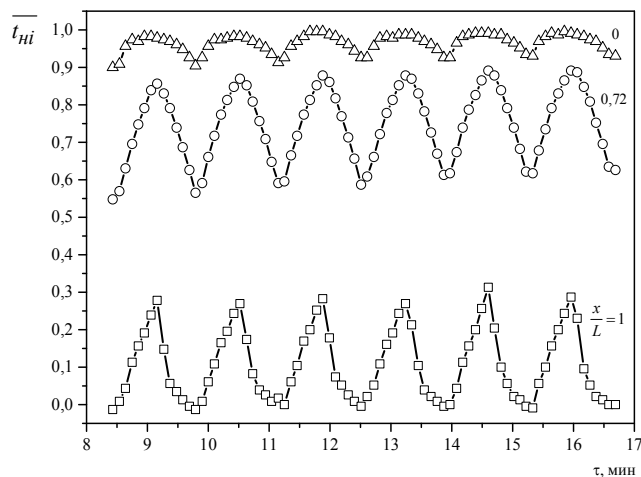


Рис. 5. Изменение безразмерной температуры стенки канала в разных сечениях насадки с течением времени

На рис. 5 показано изменение безразмерной температуры стенки канала в разных сечениях насадки с течением времени. Безразмерная температура стенки определялась как

$$\overline{t_{ni}} = \frac{(t_{ni} - t_{ул})}{(t_{пом} - t_{ул})}, \quad (2)$$

где  $\overline{t_{ni}}$  — приведенная безразмерная температура насадки в  $i$ -м сечении,  $t_{ni}$  — температура насадки в  $i$ -м сечении.

На графике видно циклическое изменение температуры насадки, аналогично изменению температуры воздуха на рис. 4.

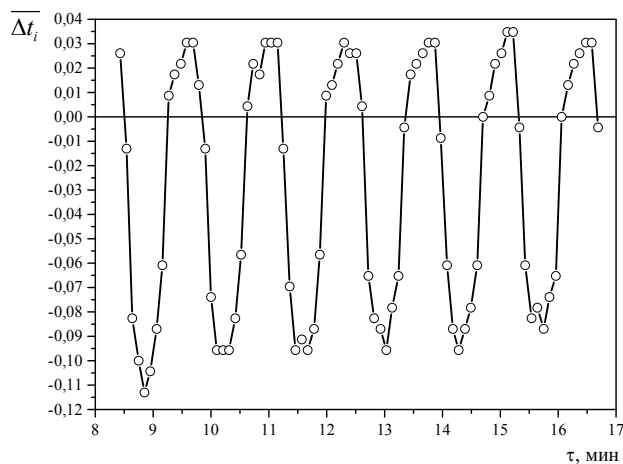


Рис. 6. Безразмерная разница температур между температурой стенки насадки и температурой воздуха в сечении  $x/L = 0,72$

На рис. 6 приведено изменение безразмерной разницы температур между температурой стенки насадки и температурой воздуха в сечении ( $x/L = 0,72$ ) с течением времени. Безразмерная разница температур определялась по следующей формуле:

$$\overline{\Delta t_i} = \frac{(t_{нi} - t_{ви})}{(t_{пом} - t_{ул})}, \tag{3}$$

где  $\overline{\Delta t_i}$  – безразмерная разница температур между температурой стенкой насадки и температурой воздуха в  $i$ -м сечении. Из графика следует, что разница температур меняла свой знак при изменении направления воздушного потока. Нессимметрия графика относительно 0 связана, как отмечалось ранее, с различием в величинах расхода воздуха при смене направления вращения вентилятора.

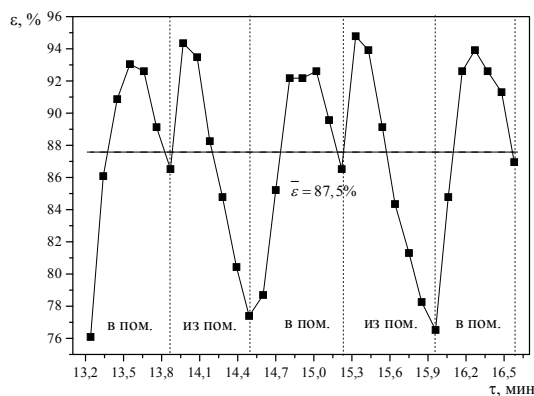


Рис. 7. Температурная эффективность при  $G = 50,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

На рис. 7 представлено изменение температурной эффективности с течением времени при среднем расходе воздуха  $50,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ , рассчитанное по формуле

$$\varepsilon = \frac{(t_0 - t_L)}{(t_{пом} - t_{ул})} \cdot 100 \%, \tag{4}$$

где  $t_0$  – температура воздуха в сечении  $x = 0$ ,  $t_L$  – температура воздуха в сечении  $x = L$ . Согласно результатам измерений средняя температурная эффективность при среднем расходе воздуха  $50,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  составила  $87,5 \%$ .

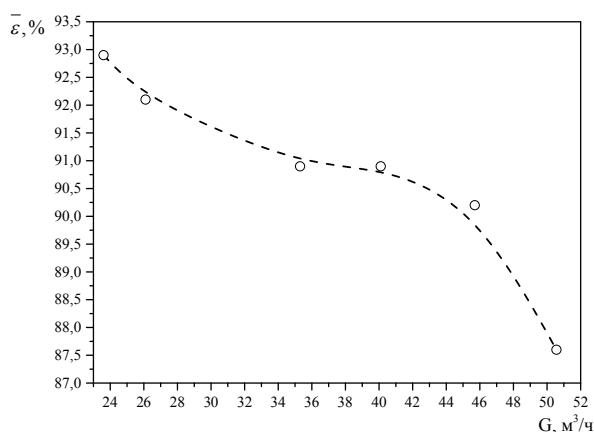


Рис. 8. Зависимость средней температурной эффективности от среднего расхода воздуха

Зависимость средней температурной эффективности от среднего расхода воздуха по результатам проведенных экспериментов показана на рис. 8. Из рисунка следует, что с уменьшением расхода воздуха, повышалась средняя эффективность работы регенератора, так при уменьшении среднего расхода воздуха до  $23,6 \text{ м}^3/\text{ч}$  средняя температурная эффективность увеличилась до  $93 \%$ .

Можно сравнить мощность, затрачиваемую на прокачку воздуха вентилятором,  $P_{\text{вент}} = 19 \text{ Вт}$ , с мощностью регенерации тепла вентиляционного воздуха, которая определяется по следующей зависимости:

$$W = G \cdot C \cdot \rho \cdot (t_{\text{пом}} - t_{\text{ул}}) \cdot \frac{\bar{\varepsilon}}{100}, \quad (5)$$

где  $W$  – тепловая мощность регенерации,  $\rho$  – плотность воздуха,  $C$  – теплоемкость воздуха. Расчет показал, что при  $t_{\text{пом}} = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{ул}} = 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , при которых проводились эксперименты, мощность на прокачку воздуха составила  $5,2 \%$  от тепловой мощности регенерации, которая составляла  $366 \text{ Вт}$ , что свидетельствует о высокой эффективности регенеративного теплоутилизатора с изменяющимся направлением воздушного потока.

#### ВЫВОДЫ

В работе приведены результаты измерений температур воздуха и стенок каналов в канальной насадке воздушного регенератора тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока, показано, что изменение температур имело циклический характер. По результатам измерений определена средняя температурная эффективность работы регенеративного теплообменника, при расходе воздуха  $50 \text{ м}^3/\text{час}$  она составила  $87 \%$ . Показано, что с уменьшением расхода вентиляционного воздуха через аппарат тепловая эффективность увеличивалась. Полученные результаты могут быть использованы для верификации расчетных математических моделей регенераторов тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока и для дальнейшего совершенствования конструкций таких аппаратов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Барон В.Г.** Рекуперация тепла в современных системах вентиляции / В.Г. Барон. – «С.О.К.». – №3. – 2005. – С. 60–64.
- [2] **Fernandez-Sera J.** Experimental analysis of an air-to-air heat recovery unit for balanced ventilation systems in residential buildings / J. Fernandez-Sera, R. Diz, F. J. Uhia, A. Dopazo, J.M. Ferro // *Energy Conversion and Management*. – № 52. – 2011. – P. 635–640.
- [3] **Mohammed Rafati Nasr/** A review of frosting in air – to – air energy exchangers / Mohammed Rafati Nasr, Melanie Fauchoux, Robert W. Besant, Carey J. Simonson // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – № 30. – 2014. – С. 538–554.
- [4] **Davood Ghadiri Moghaddam.** Numerical model of a small-scale liquid- to – air membrane energy exchanger: Parametric study of membrane resistance and air side convective heat transfer coefficient / Davood Ghadiri Moghaddam, Ashkan Oghabi, Gaoming Ge, Robert W. Besant, Carey J. Simonson // *Applied Thermal Engineering*. – № 61. – 2013. – P. 245–258.
- [5] **Низовцев М.И.** Экспериментальное исследование динамических и тепловых характеристик дискового вентилятора – регенератора тепла вентиляционного воздуха / М.И. Низовцев // *Известия Вузов. Строительство*. – № 10. – 2007. – С. 46–50.
- [6] **Ланда Ю.И.** Децентрализованная рекуперативная вентиляция квартир / Ю.И. Ланда // Спецвыпуск журнала Энергосбережение. – № 12. – 2012. – С. 40–43.
- [7] **Низовцев М.И.** Экспериментальное исследование воздухо-воздушного теплообменника с промежуточным теплоносителем для утилизации тепла вентиляционного воздуха / М.И. Низовцев, А.И. Яворский, В.Н. Летушко, В.Ю. Бородулин // Труды научной-практической конференции «Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий». – 2013. – С. 43–49.
- [8] **Rajnish Kaur Calay.** A hybrid energy efficient building ventilation system / Rajnish Kaur Calay, Wen Chung Wang // *Applied Thermal Engineering*. – № 57. – 2013. – P. 7–13.
- [9] **Aristov Yu.I.** A new approach to regenerating heat and moisture in ventilation systems / Yu.I. Aristov, I.V. Mezentsev, V.A. Mukhin // *Energy and Buildings*. – № 40. – 2008. – P. 204–208.

## REFERENCES

- [1] Baron V.G. Rekuperaciya tepla v sovremennyx sistemax ventilyacii [«Bathroom equipment, heating, conditioning»]. 2005, no. 3, pp. 60–64.
- [2] Jose Fernandez-Sera, Ruben Diz, Francisco J Uhia, Alberto Dopazo, Jose M. Ferro. Experimental analysis of an air-to-air heat recovery unit for balanced ventilation systems in residential buildings. *Energy Conversion and Management*, 2011, no. 52, pp. 635–640. doi: 10.1016/j.enconman.2010.07.040
- [3] Mohammed Rafati Nasr, Melanie Fauchoux, Robert W. Besant, Carey J. Simonson. A review of frosting in air – to – air energy exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, no. 30, pp. 538–554. doi: 10.1016/j.rser.2013.10.038
- [4] Davood Ghadiri Moghaddam, Ashkan Oghabi, Gaoming Ge, Robert W. Besant, Carey J. Simonson. Numerical model of a small-scale liquid- to – air membrane energy exchanger: Parametric study of membrane resistance and air side convective heat transfer coefficient. *Applied Thermal Engineering*, 2013, no. 61, pp. 245–258. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.07.017
- [5] Nizovtsev M.I. Eksperimentalnoe issledovanie dinamicheskix i teplovyx karakteristik diskovogo ventilya-tora – regeneratora tepla ventilyacionnogo vozduxa. [Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo]. 2007, no. 10, pp. 46–50.
- [6] Landa Y.I. Decentralizovannaya rekuperativnaya ventilyaciya kvartir. [Special issue Energy Saving]. 2012, no. 12, pp. 46–50.
- [7] Nizovtsev M.I., Yvorski A.I., Letushko V.N., Borodulin V.Y. Eksperimentalnoe issledovanie vozduxo-vozdushnogo teploobmennika s promezhutochnym teponositelem dlya utilizacii tepla ventilyacionnogo vozduxa [Experimental study of air-to-air heat exchanger with an intermediate heat transfer medium for heat recovery ventilation air]. *Trudy nauchnoy-prakticheskoy konferencii «Energo- i resursoeffektivnost maloetazhnyx zhilyx zdaniy»* [Proceedings of the scientific-practical conference «Energy and resource efficiency of low-rise residential buildings»] Novosibirsk, 2013, pp. 43–49.
- [8] Rajnish Kaur Calay, Wen Chung Wang. A hybrid energy efficient building ventilation system. *Applied Thermal Engineering*, 2013, no. 57, pp. 7–13. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.03.042
- [9] Yu.I. Aristov, I.V. Mezentsev, V.A. Mukhin. A new approach to regenerating heat and moisture in ventilation systems. *Energy and Buildings*, 2008, no. 40, pp. 204–208. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.02.029

*Захаров Александр Александрович*, магистр техники и технологии, аспирант кафедры систем электроснабжения предприятий (СЭСП) Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – энергосбережение, возобновляемые источники энергии. Имеет 15 публикаций, в том числе 1 монографию. E-mail: pharaon13@mail.ru

*Низовцев Михаил Иванович*, доктор технических наук, доцент кафедры систем электроснабжения предприятий (СЭСП) Новосибирского государственного технического университета, заведующий лабораторией проблем энергосбережения ИТ СО РАН. Основные направления научных исследований – строительная теплофизика, тепло- и массоперенос, энергосбережение, возобновляемые источники энергии. Имеет более 160 публикаций, в том числе 2 монографии. E-mail: nizovtsev@itp.nsc.ru

**A.A. Zakharov, M.I. Nizovtsev**

*Experimental studies of the regenerator heat ventilation air with varying air flow direction*

In modern buildings in connection with increase of requirements to heat-shielding characteristics of protecting designs the infiltration of external air to internal rooms that breaks processes of their natural ventilation considerably decreased. High humidity of air and violation of a healthy microclimate becomes result. As show power inspections in modern multiroom residential buildings of loss of heat on heating of ventilating air can make to 50 % in the general thermal balance of expenses of heat on heating. Therefore problems of energy saving ventilation of premises become especially actual now. The article presents the results of experimental studies of the thermal parameters of the regenerative heat exchanger with variable air flow direction. This device allows you to organize energy saving ventilation in separate apartments apartment house. The distributions of temperature in the air filling and the walls of the channels at different times. The dependence of the average thermal efficiency of the unit on the flow of ventilation air. The results can be used to verify the calculated mathematical models re-heat ventilation air generators with variable air flow direction, and further improving the design of such devices.

**Key words:** air-to-air heat exchanger, heat regenerator, heat exchange filling, energy saving ventilation, experimental studies, distribution of temperatures, temperature efficiency, experimental installation.