

УДК 697.9

**Бройда В.А.** – кандидат технических наук, доцентE-mail: [broida@mail.ru](mailto:broida@mail.ru)**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Эффективность приточно-вытяжных устройств с регенерацией тепла при совместной работе с естественной вытяжной вентиляцией**

#### **Аннотация**

Рассчитываются расходы воздуха, проходящего через парные приточно-вытяжные реверсивные устройства с регенерацией тепла, и расход воздуха естественной вытяжной вентиляции. Учитываются изменение температуры наружного воздуха в холодный период года и связанное с ним изменение гравитационного давления. Оценивается эффективность регенерации тепла в зависимости от температурных условий, рассматриваемого этажа здания и соотношения заданных расходов регенеративных устройств и вытяжной вентиляции.

**Ключевые слова:** регенерация тепла, естественная вытяжная вентиляция, эффективность.

#### **Введение**

В настоящее время на рынке предлагаются приточно-вытяжные установки с регенерацией тепла, например, УВРК-50 [1] и др. Имеются сведения о высокой энергетической эффективности этих устройств. Приборы такого типа монтируются в наружной стене. Устройство может работать как на приток, так и на вытяжку. При отключении вентилятора прибор выполняет функцию вентиляционного проема для проветривания.

Наиболее важен режим работы такого устройства с регенерацией тепла. Для этого небольшой промежуток времени ( $\sim 40 \div 70$  секунд) прибор удаляет теплый воздух помещения, за счет чего нагревается насадка теплообменника. Затем на такой же промежуток времени вентилятор включается на реверс, и прибор подает в помещение наружный воздух. Проходя через нагретую насадку, наружный холодный воздух нагревается, за счет чего происходит эффективный возврат тепла помещения. Таким образом, для осуществления непрерывного воздухообмена и работы с регенерацией тепла требуется парная установка таких приборов в одном помещении или в двух смежных помещениях с сообщающимся воздушным пространством. В каждый момент времени один прибор из пары работает на приток, другой – на вытяжку. Производительность устройств регулируется, имеется система автоматики, позволяющая управлять их работой, в том числе синхронизировать работу двух устройств.

В условиях отдельной изолированной комнаты (или группы взаимосвязанных, но изолированных от других помещений, комнат) приборы осуществляют воздухообмен с регенерацией тепла и их применение целесообразно.

На практике часто встречаются помещения, имеющие естественную вытяжную вентиляцию с несбалансированным притоком, поступление приточного воздуха в которые полностью или частично является неорганизованным. Например, в жилых комнатах вытяжка осуществляется через санузел, ванную и кухню, а приток – через неплотности окон или через специальные клапаны (оконные или стеновые). Похожая ситуация может встречаться в небольших офисах, бутиках, тренажерных залах и других помещениях.

Как известно, интенсивность естественной вытяжной вентиляции зависит от величины гравитационного давления, которое изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, от высоты вытяжного канала (то есть от этажа, на котором располагается помещение). Не ясно, в какой степени работа регенеративных устройств возможна при наличии такой вытяжной вентиляции и неорганизованном притоке.

Целью данной работы является оценка влияния естественной вытяжной вентиляции на работу парных устройств с регенерацией тепла.

**Основная часть**

Рассмотрим работу таких парных устройств, с заданным расходом  $L_V$ , м<sup>3</sup>/ч, на подачу воздуха в помещение, и с таким же расходом – на выброс из помещения. В помещении имеется естественная вытяжная вентиляция с расчетным расходом  $L_{E0}$ , м<sup>3</sup>/ч, который устанавливается при температуре внутреннего воздуха  $t_B$  и температуре наружного воздуха  $t=5$  °С. Располагаемое естественное давление  $P_E$ , Па, при некоторой температуре наружного воздуха  $t$  находится по формуле:

$$P_E = g \cdot h \cdot (r - r_B), \quad (1)$$

а расчетное давление при температуре наружного воздуха  $t=5$  °С составляет:

$$P_{E0} = g \cdot h \cdot (r_5 - r_B), \quad (2)$$

где  $h$  – разница отметок центров вытяжных решеток и устья канала, м;  $r$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>, которая при любой температуре  $t$  определяется выражением

$$r = 353 / (273 + t) \quad (3)$$

Давление, создаваемое вентилятором приточно-вытяжной установки с регенерацией тепла –  $P_V$ , Па, тогда характеристика проточной части такой установки, Па/(м<sup>6</sup>/ч<sup>2</sup>),

$$s_V = P_V / L_V^2, \quad (4)$$

соответственно, характеристика канала естественной вытяжной системы

$$s_E = P_{E0} / L_{E0}^2 \quad (5)$$

При совместной работе естественной вытяжной системы и пары регенеративных установок (одна работает на приток, другая на выброс) можно записать уравнения, выражающие равенства располагаемых давлений и потерь давления по маршрутам движения воздуха через каждую установку

$$P_V - s_V \cdot L_1^2 + (P_E - s_E \cdot (L_1 - L_2)^2) = 0, \quad (6)$$

$$P_V - s_V \cdot L_1^2 - (P_E - s_E \cdot (L_1 - L_2)^2) = 0, \quad (7)$$

где  $L_1$ ,  $L_2$  – соответственно, расходы воздуха, проходящие через приточное и вытяжное регенеративное устройство, а разность  $L_1 - L_2 = L$  – расход естественной вытяжной вентиляции при их совместной работе. Система уравнений (6–7) – это система уравнений четвертой степени (биквадратных) относительно искомых величин  $L_1$  и  $L_2$ .

После подстановок

$$m = \frac{P_V}{s_V} + 2 \cdot \frac{P_V}{s_V} \cdot \frac{s_E}{s_V} - \frac{P_E}{s_V}, \quad (8) \quad a = 1 + 4 \cdot \left(\frac{s_E}{s_V}\right)^2, \quad (9)$$

$$b = \left(-2 \cdot m - 8 \cdot \left(\frac{s_E}{s_V}\right)^2 \cdot \frac{P_V}{s_V}\right), \quad (10) \quad g = m^2, \quad (11)$$

находится точное решение системы уравнений:

$$L_2 = \sqrt{\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot g}}{2 \cdot a}} \quad (12) \quad L_1 = \sqrt{2 \cdot \frac{P_V}{s_V} - L_2} \quad (13)$$

Естественная вытяжная система работает при изменяющейся температуре наружного воздуха. При отсутствии регулирования, что встречается часто, ее производительность зависит от соотношений плотностей воздуха:

$$L_E = L_{E0} \cdot \sqrt{(r - r_B) / (r_5 - r_B)}, \quad (14)$$

Последнюю зависимость можно выразить через температуры воздуха, применив выражение (3), тогда относительный расход естественной вытяжной вентиляции  $\bar{L}_E$  (без влияния регенеративных устройств) определится выражением:

$$\bar{L}_E = L_E / L_{E0} = \sqrt{\frac{(273+5) \cdot (t_B - t)}{(273+t) \cdot (t_B - 5)}} \quad (15)$$

При использовании установок с регенераторами тепла относительный расход естественной вытяжной системы составит:

$$L^* = L / L_{E0}. \quad (16)$$

Годовое изменение температуры наружного воздуха описывается зависимостью:

$$t = t_r + A \cdot \text{Cos}(z), \quad (17)$$

где  $t_r$ ,  $A$  – соответственно, среднегодовое значение и амплитуда отклонения температуры, величины которые могут устанавливаться по данным [2],  $^{\circ}\text{C}$ ;  $z$  – безразмерная переменная времени,  $z = Z \cdot 2\pi / 365$ ;  $Z$  – время, отсчитываемое от годового максимума температуры, сут.

Эффективность регенерации тепла парными устройствами при заданных одинаковых расходах приточного и удаляемого воздуха составляет  $E_0$ . При неодинаковых расходах приточного  $L_1$  и удаляемого  $L_2$  воздуха в насадке аккумулируется количество тепла, пропорциональное расходу  $L_2$ , а передается большему расходу приточного наружного воздуха  $L_1$ . В такой ситуации приближенно эффективность регенерации можно представить с помощью выражения:

$$E = E_0 \cdot L_2 / L_1 \quad (18)$$

(более точная оценка должна строиться на основе расчета нестационарного режима аккумуляции и передачи тепла в насадке теплообменника).

В течение года вместе с температурой наружного воздуха изменяется гравитационное давление, расходы воздуха  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L$  и их соотношения. Средняя за расчетный период работы естественной вытяжной вентиляции (от температуры наружного воздуха  $+5^{\circ}\text{C}$ , которой соответствует безразмерная переменная  $z_1$ , до минимальной температуры  $t_{MIN} = t_r - A$ , когда безразмерная переменная равна  $\pi$ ) эффективность регенерации тепла составит:

$$E_{CP} = \frac{1}{\pi - z_1} \int_{z_1}^{\pi} E dz \quad (19)$$

### Результаты

Ниже приводятся результаты расчетов, основанные на полученных решениях. За исходные данные принято: заданный расход естественной вытяжной вентиляции  $L_{E0} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ , расчетная температура внутреннего воздуха  $t_B = 20^{\circ}\text{C}$ . Расчетная высота  $h$  зависит от этажа здания, в данном случае находится из выражения  $h = 4 + 3 \cdot (N - i)$ , где  $N$  – число этажей в здании (высота этажа принята 3 м);  $i$  – номер этажа, для которого производится расчет.

Рассматриваются ситуации, когда заданный расход воздуха, подаваемого и удаляемого парами устройств с регенерацией теплоты, составляет  $L_v = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $L_y = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$ , давление, создаваемое их вентиляторами  $P_v = 20 \text{ Па}$ . Характеристика климата задается среднегодовой температурой  $t_r = 0^{\circ}\text{C}$  и амплитудой годового хода температуры наружного воздуха  $A = 25^{\circ}\text{C}$ , величина  $E_0 = 0,7$ .

Результаты расчета представлены на рисунках 1-3.

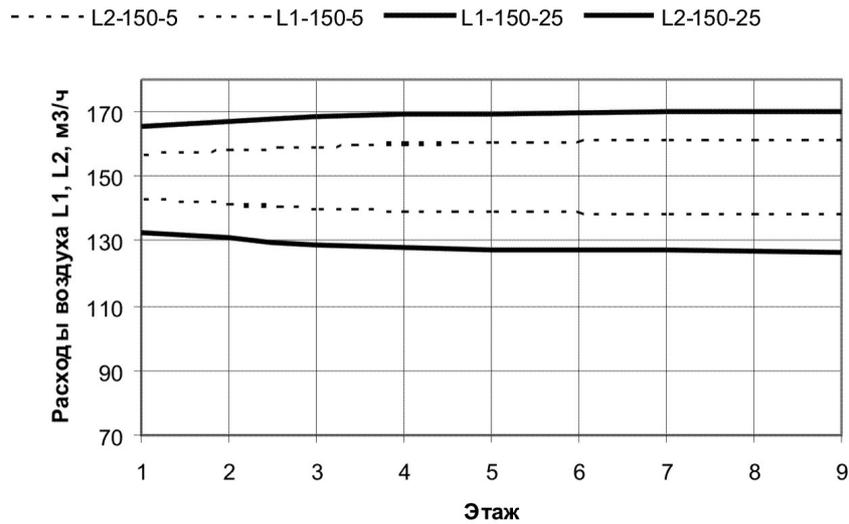


Рис. 1. Изменение расходов воздуха через приточные  $L_1$  и вытяжные  $L_2$  устройства с регенерацией тепла при взаимодействии с вытяжной системой. Заданный расход воздуха  $L_V=150 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температуры наружного воздуха  $t_{MAX}=+5 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{MIN}=-25 \text{ }^\circ\text{C}$

Из расчета следует, что при температуре наружного воздуха  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  (пунктирные линии) расходы  $L_1$  и  $L_2$  мало отличаются от  $L_V=150 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Причем расход втекающего воздуха возрастает, а расход выбрасываемого воздуха уменьшается. При температуре наружного воздуха  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$  такое отличие больше.

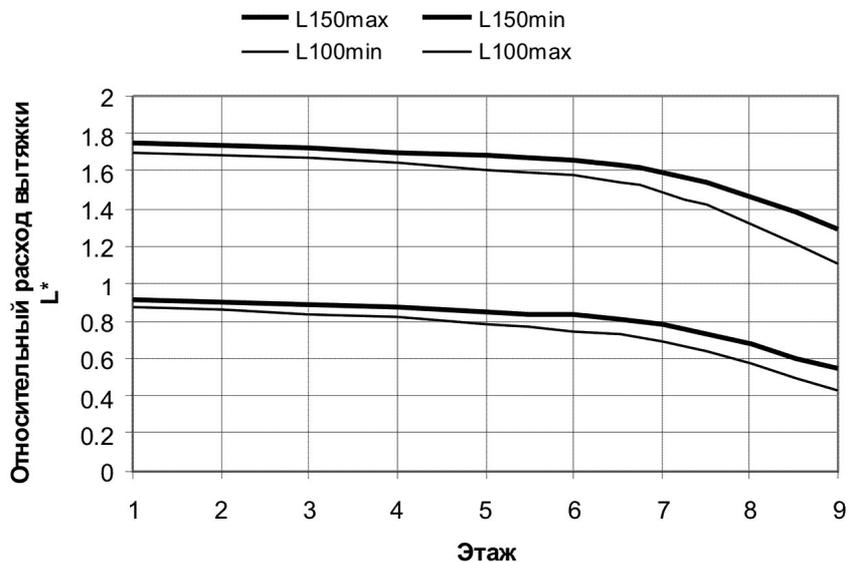


Рис. 2. Относительный расход воздуха, удаляемый вытяжной системой вентиляции при работе регенеративных устройств

На рис. 2 представлены диапазоны изменения относительного расхода естественной вытяжной системы при работе парных регенеративных устройств. Максимальные значения достигаются при наиболее низкой температуре воздуха, в данном примере расчета – это  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ , для нижних этажей они составляют приблизительно 1,7. Для вытяжной системы без регулирования и при отсутствии регенеративных устройств эта величина для всех этажей здания составляет 1,83 (следует из формулы (15)). Следовательно, наличие парных регенеративных устройств не ухудшает работу естественной вытяжной системы.

Минимальные значения относительного расхода естественной вытяжной системы обнаруживаются при расчетной температуре  $+5^{\circ}\text{C}$  – это две нижние кривые на рис. 2. Для нижних этажей относительный расход составляет  $L^* = 0,9 - 0,8$ , что достаточно близко к  $\bar{L}_E = 1$  – относительному расходу нерегулируемой вытяжной системы при отсутствии регенеративных устройств. Для верхних этажей наличие парно работающих устройств с регенерацией тепла значительно влияет на расход естественной вытяжной системы, но все же относительный расход вытяжной системы составляет не менее 0,4.

Средняя за период использования естественной вытяжной системы эффективность регенерации выше для верхних этажей здания, тут она ниже характеристики самих устройств приблизительно на 0,13. Для нижних этажей здания влияние естественной вытяжки больше, оно приводит к снижению эффективности на 0,15-0,22. Это влияние существенней для регенеративных устройств меньшей производительности (в данном случае при  $L_v = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

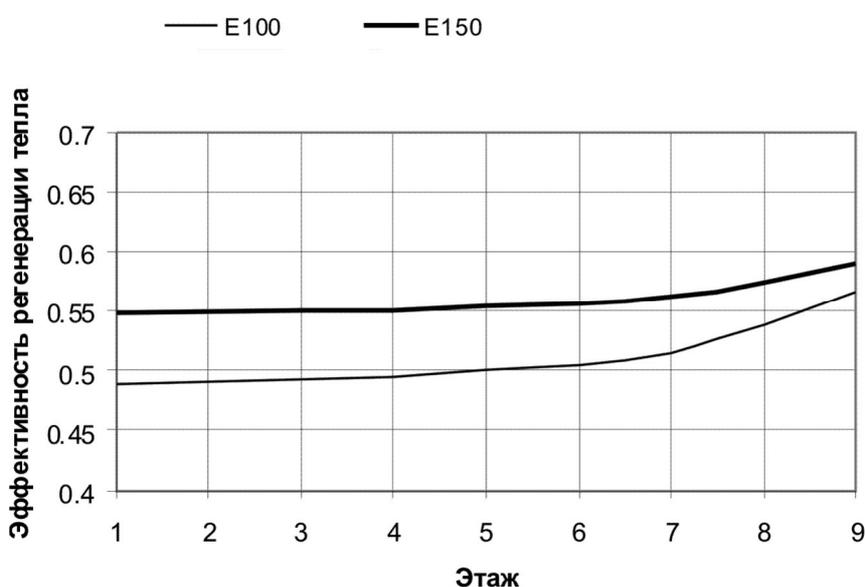


Рис. 3. Изменение средней за период работы естественной вытяжной системы эффективности регенерации тепла парными устройствами

### Заключение

В результате исследования установлено взаимное влияние естественной вытяжной вентиляции и парных устройств с регенерацией тепла. Более заметно влияние регенеративных устройств на работу вытяжной вентиляции верхних этажей в течение всего периода ее использования. Напротив, вытяжная вентиляция более заметно снижает эффективность регенерации тепла для нижних этажей здания. Отрицательное влияние взаимодействия на эффективность регенерации более заметно для устройств меньшей производительности. Результаты этого исследования следует учитывать при использовании парных регенеративных устройств.

### Список литературы

1. УВРК-50. Описание и технические характеристики. [http:// www.homevent.ru](http://www.homevent.ru).
2. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 70 с.
3. Бройда В.А. Оценка эффективности регулирования естественной вентиляции // Известия КГАСА, 2004, № 1 (2). – С. 76-78.

**Broyda V.A.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [broida@mail.ru](mailto:broida@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **Effectiveness of supply-exhaust heat recovery devices in co-operation with natural ventilation**

#### **Resume**

This article discusses the interaction of pairs of supply-exhaust heat recovery devices and natural ventilation. Equations of disposable pressure and pressure drop along the routes of air through the regenerative devices and exhaust system is written. Solution of the system of equations is in the form of exact formulas. On the basis of the system of equations for these devices is calculated airflows.

Progress of the outside air temperature in annual cycle is described by harmonic oscillations. Since it involves change in the gravitational pressure, which affects the air flows through all of these devices.

Characteristics of regeneration efficiency is given for the equal flow of supply and exhaust air through a pair of devices. Changes in air flow ratios reduce the efficiency of heat recovery.

As a result of an assessment of the efficiency of heat recovery, which takes into account the temperature conditions, the estimated floor of the building, given the ratio of the air flow of the regenerative devices, and natural ventilation.

**Keywords:** heat recovery, natural ventilation, effectiveness.

#### **References**

1. UVRK-50. Description and performance attributes. [http// www.homevent.ru](http://www.homevent.ru).
2. SNiP 23-01-99\*. Building climatology / Gosstroif of Russia. – M.: FGUP CPP, 2003. – 70 p.
3. Broyda V.A. Efficiency control estimation of the natural extract ventilation // News of the KSAAE, 2004, № 1 (2). – P. 76-78.