

Кузьмин Сергей Иванович,  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

## МОДЕЛЬ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ

Kuzmin S.I.

### MODEL OF TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF PLATE HEAT EXCHANGERS

**Аннотация.** В работе представлены математические модели технических, энергетических и экономических характеристик пластинчатых рекуператоров для систем вентиляции.

**Ключевые слова:** система вентиляции, воздухообмен, рекуператор, моделирование технической системы.

**Abstract.** The paper presents mathematical models of technical, energy and economic characteristics of plate heat exchangers for ventilation systems.

**Keywords:** ventilation system, air exchange, recuperator, modeling of the technical system.

Одной из наиболее затратных статей в балансе потребления тепловой энергии общественных и промышленных зданий являются системы общеобменной вентиляции. Необходимость нагрева приточного воздуха в холодный период года приводит к тому, что доля теплоснабжения таких систем в общем тепловом балансе здания составляет от 40% до 70%. При этом на теплоснабжение вентиляции не оказывает влияние утепление оболочки здания или иные традиционные энергосберегающие мероприятия, так как производительность системы зависит только от интенсивности и токсичности производственных выбросов [1].

Для снижения потребления дорогого первичного тепла от внешних источников предлагается использовать «внутренние резервы энергии» [2]. В здании, оборудованном механическими вытяжными системами, таким очевидным источником тепла представляется удаляемый воздух. В силу естественных процессов температура воздуха в верхней зоне помещения всегда выше температуры остального объема даже при отсутствии теплоизбытков. Это тепло просто удаляется наружу, имея потенциал на (25-40) °C выше по сравнению с воздухом, поступающим в приточные установки для последующего нагрева. С целью повышения энергетической характеристики системы вентиляции предлагается использовать тепло удаляемого из помещения воздуха. Это может достигаться различными способами.

Наиболее очевидный и экономичный прием заключается в рециркуляции удаляемого воздуха: часть теплого воздуха смешивается с наружным (холодным), повышая температуру нагреваемой смеси в калорифере [1]. Не смотря на техническую простоту такого решения оно не всегда реализуемо по причине нежелательного, но неизбежного поступления в приточный воздух веществ, содержащихся в удаляемом воздухе.

Другой способ предполагает извлечение тепла за счёт нагрева приточного воздуха в поверхностном теплообменнике типа «воздух-воздух» (рекуператоре) (рис. 1 а). При этом исключается попадание вещества из удаляемого воздуха в приточный, но применение теплообменника предполагает обязательную механическую систему вытяжной системы, так как эффективный теплообмен между газообразными средами во многом зависит от скорости потоков, что сопряжено с значительными потерями давления.

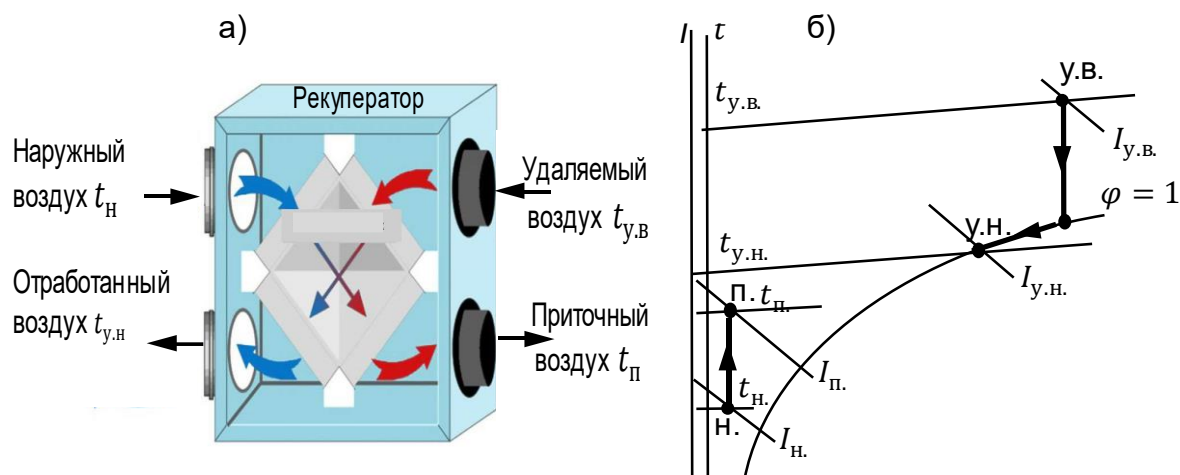


Рисунок 1 – Схема утилизации тепла удаляемого воздуха в системах вентиляции: а) технологическая схема рекуператора; б) термодинамический процесс теплообмена в рекуператоре:  $t$  – температура;  $I$  – теплосодержание;  $\varphi$  – относительная влажность.

Мощность теплового потока  $N_p$  (Вт), извлекаемого рекуператором, определяется выражением:

$$N_p = 0,28 \cdot Q_{св} \cdot (I_{\Pi} - I_H) \cdot f_p, \quad (1)$$

где  $Q_{св}$  – величина воздушного потока через рекуператор, кг/час;  $I_{\Pi}$  и  $I_H$  – теплосодержание воздуха, соответственно нагретого после рекуператора и наружного, кДж/кг;  $f_p$  – коэффициент полезного действия (эффективность) рекуператора:

$$f_p = \frac{I_{\Pi} - I_H}{I_{y.B} - I_H}, \quad (2)$$

где  $I_{y.B.}$  – теплосодержание удаляемого из помещения воздуха на входе в рекуператор, кДж/кг.

Эффективность рекуператоров зависит от конструкции и производительности аппаратов и является технической характеристикой, определяемой экспериментально. На рисунке 2 приведены паспортные характеристики эффективности воздухо-воздушных рекуператоров различной номинальной производительности  $Q_H$ .

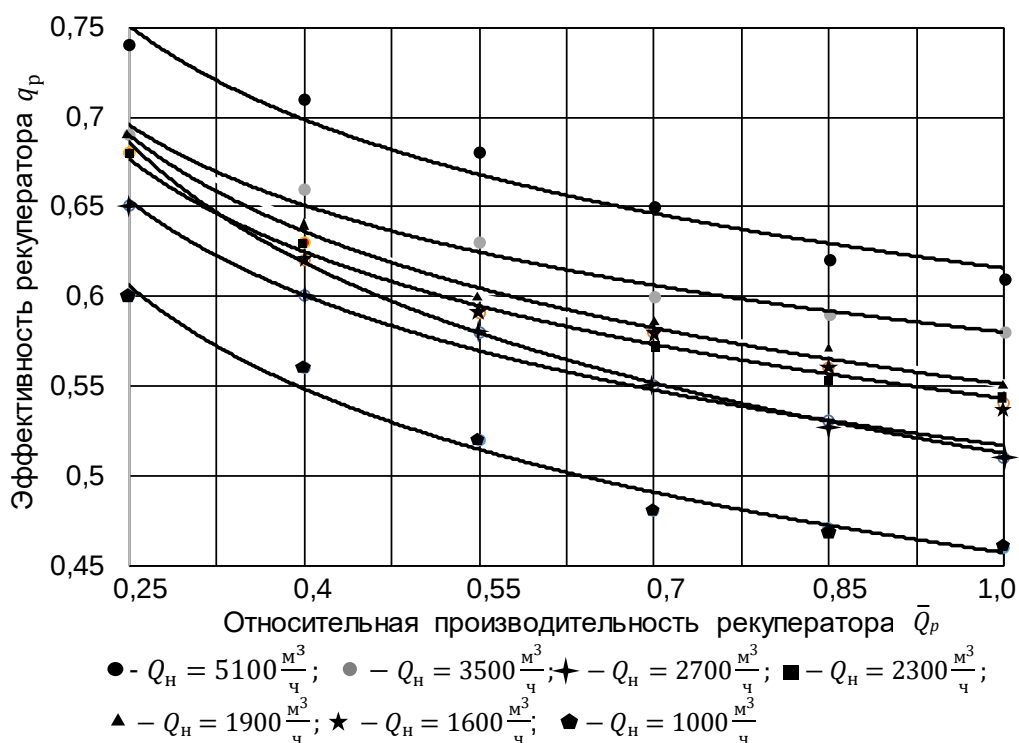


Рисунок 2 – Зависимость эффективности рекуператора от относительной и номинальной производительности.

Распределение эффективности рекуператора можно охарактеризовать обобщённой зависимостью:

$$f_p = C - D \cdot \ln(q_p), \quad (3)$$

где  $C$  и  $D$  – расчётные коэффициенты, зависящие от номинальной производительности рекуператора  $Q_H$  ( $\text{м}^3/\text{час}$ ):

$$C = 0,01 \cdot (57,49 - 1,33 \cdot 10^{-4} \cdot (0,01 \cdot Q_H - 9)^4 + 0,0116 \cdot (0,01 \cdot Q_H - 9)^3 - 0,325 \cdot (0,01 \cdot Q_H - 9)^2 + 3,292 \cdot (0,01 \cdot Q_H - 9), \quad (4)$$

$$D = 2 \cdot 10^{-5} \cdot (0,01 \cdot Q_H - 9)^2 - 0,0008 \cdot (0,01 \cdot Q_H - 9) + 0,081, \quad (5)$$

где  $q_p$  – относительная производительность рекуператора, представляющая отношение фактической производительности  $Q_\phi$  к номинальной  $Q_H$ .

Одной из важных технических характеристик рекуператора, влияющей на потребление электрической энергии системой вентиляции, является аэродинамическое сопротивление  $P_p$  (Па). На рисунке 3 приведены результаты экспериментальных значений сопротивления рекуператоров различной номинальной производительности  $Q_H$  от их относительной производительности  $q_p$ . Из приведённых данных следует, что распределение значений  $P_p$  укладывается в полосу неопределённости  $\pm 5\%$  относительно средних значений. Поэтому эти распределения могут быть представлены одной зависимостью:

$$P_p = 210 \cdot q_p - 28. \quad (6)$$

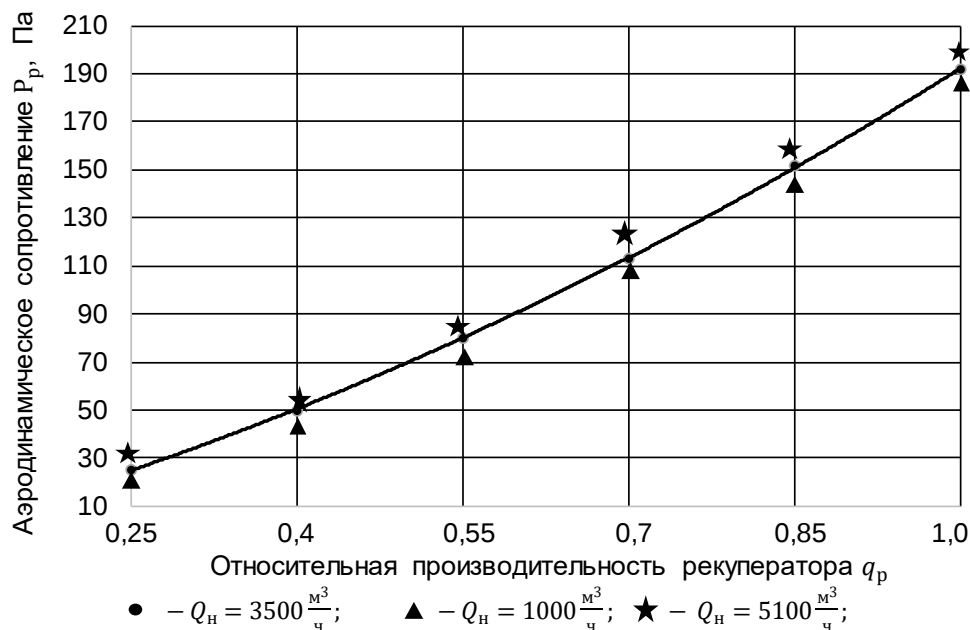


Рисунок 3 – Зависимость аэродинамического сопротивления рекуператора от относительной производительности.

Кроме технических характеристик теплоутилизатора, важную роль в оценке эффективности и целесообразности применения этих устройств в системах вентиляции играет экономический показатель – стоимость.

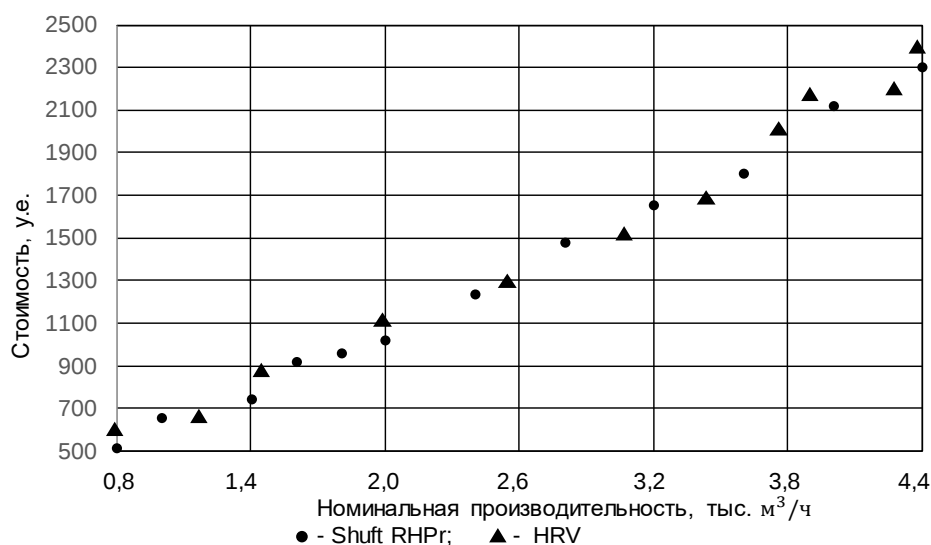


Рисунок 4 – Стоимость пластинчатых рекуператоров.

Рассмотрим возможность составления математической модели стоимости пластинчатых рекуператоров. За основу примем аппараты моделей Shuft RHPr и HRV [3], используемые в системах вентиляции общественных и промышленных зданий.

Как показал анализ прайс-листов наиболее известных изготовителей этого оборудования, стоимость рекуператоров статистически соотносится с основным техническим параметром – производительностью по воздуху  $Q_{рек}$  (тыс. м<sup>3</sup>/ч). На рисунке 4 представлена диаграмма усреднённой стоимости Shuft RHPr  $C_{рек}$ . Для обеспечения универсальности экономического показателя стоимость оборудования выражена в условных единицах (у.е.), принятых в размере 1у.е.=100 руб. Среднеквадратичная ошибка оценки стоимости камеры относительно среднего значения составляет 6%. Дисперсия статистического разброса стоимости составляет  $S_{пк}^2 = 479,6$ .

Дискретное распределение стоимости рекуператоров заменим непрерывным в пределах существующего диапазона производительности. Функция приближенной регрессии имеет вид:

$$C_{рек} = 226 + 373,2 \cdot Q_{рек} + 22,25 \cdot Q_{рек}^2, \quad (7)$$

где  $Q_{пк}$  – номинальная производительность приточной камеры, тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Дисперсия адекватности модели (7) оценки стоимости равна:  $S_{ад}^2 = 945,3$ . Расчётное значение критерия адекватности полученной модели (критерий Фишера):  $F_{ад}^{расч.} = 1,97$ . Табличное значение составляет  $F_{ад}^{табл.} = 3,84$  (при доверительной вероятности 95%) [4].

Следовательно, полученные модели (3-7) адекватно аппроксимируют технико-экономические характеристики пластинчатых рекуператоров, представленных на отечественном рынке, и могут быть использованы для анализа и обоснования использования в системах вентиляции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические системы // Под ред. И.Г. Старовойтова. Ч.2. Вентиляция. – М.: Стройиздат, 1993. – 896 с.
2. **Российская Федерация. Законы.** ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» № 261-ФЗ от 23.11.2009.
3. Каталог ООО «Сантехника-ОНЛАЙН»//<https://santehnika-online/catalog/>.
4. **Вознесенский, В.А.** Математическое моделирование в технико-экономических задачах / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 315 с. – Текст : непосредственный.