

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА СХЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Kuzmin S.I.

METHOD FOR SUBSTANTIATING THE CHOICE OF THE SCHEME OF SUPPLY GENERAL VENTILATION SYSTEM

Аннотация. В работе представлен метод обоснования выбора технологической схемы механической приточной вентиляции на основе экономического критерия.

Ключевые слова: вентиляция, воздухообмен, воздухораспределение, моделирование технической системы.

Abstract. The paper presents a method for substantiating the choice of a technological scheme of a mechanical supply ventilation system based on an economic criterion.

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

В качестве критерия оптимальности могут приниматься различные показатели: энергетические, ресурсные (материальные и временные), экономические, экологические, технологические и даже эстетические. В настоящей работе приведён метод обоснования выбора рациональной системы общеобменной приточной вентиляции по комплексному экономическому показателю, включающему затраты на стоимость оборудования и эксплуатацию системы в течение расчётного периода. Объективность метода обосновывается использованием.

Выбор оптимального варианта технической системы, как правило, основывается на экономических критериях. Поиск наиболее выгодного решения продуктивно проводить по математическим моделям, выражающим связь определяющих технологических показателей системы с критерием оптимизации. Поэтому представляется важным располагать такими моделями для всех элементов систем, которые в совокупности образуют полную систему уравнений, удовлетворяющую решению поставленной задачи.

Требуемый воздушно-тепловой режим здания обеспечивается системами приточной общеобменной вентиляции. Конструкция системы включает комплекс оборудования по обработке наружного воздуха, коммуникаций транспортирования вентиляционного воздуха и системы его подачи в помещение (рис. 1) [1].

Обработка приточного воздуха производится в комплексе из соответствующего оборудования – воздухозаборных устройств, воздушных фильтров, поверхностных и контактных теплообменников, вентиляторов – образующих приточную камеру. Состав приточной камеры и мощность отдельных элементов определяется производительностью систем вентиляции и может компоноваться из самостоятельных изделий, что позволяет создавать приточные камеры под конкретные условия. С другой стороны, в вентиляционной практике предлагаются блочные приточные камеры, представляющие комплекс из определённого

набора оборудования, выполненные как одно изделие и позволяющие реализовать необходимый технологический процесс по подготовке вентиляционного воздуха и его перемещению по системе. Такие камеры (ПК2), хотя и ограничивают возможности использования разнообразных типов оборудования, но имеют очевидные достоинства, выражающиеся прежде всего в максимальной совместимости отдельных элементов, компактности и состоянии заводской готовности.

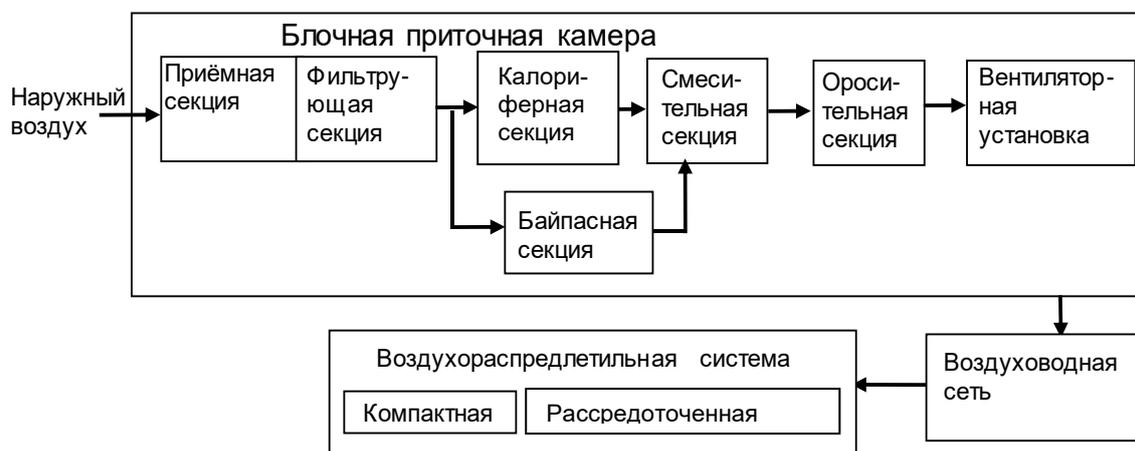


Рисунок 1 – Принципиальная схема приточной вентиляции блочного типа.

Транспортирование вентиляционного воздуха производится по системе воздуховодов, достигающих протяжённость до 30 м и составляющих существенную часть стоимости систем.

Организация воздухообмена в помещении, определяемая схемой подачи и удаления воздуха (система воздухораспределения), во многом определяет формирование полей производственной вредности в воздухе и, следовательно, влияет на расчётную производительность системы, от которой зависит стоимость вентиляции в целом.

В настоящей работе приведены результаты составления математической модели стоимости системы вентиляции, состоящей из блочных приточных камер типа ПК2 [1], сети воздуховодов и воздухоподразделительных элементов, используемых в системах вентиляции общественных и промышленных зданий.

Стандартная камера включает следующие секции, последовательно соединяющиеся между собой в один блок и обеспечивающие практически все технологические процессы по обработке приточного воздуха для общеобменной вентиляции: приёмная секция с воздухозаборной решёткой и утеплённым клапаном; секция воздушных фильтров; калориферная секция; оросительная камера; вентиляционная установка; обводная линия; секция смешения.

Как показал анализ прайс-листов наиболее известных изготовителей этого оборудования, стоимость блочных камер статистически соотносится с основным техническим параметром – производительностью по воздуху $Q_{ПК}$ (тыс. м³/ч). На

рисунке 2 представлена диаграмма усреднённой стоимости ПК2 $C_{ПК2}$. 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 8%. Дисперсия статистического разброса стоимости составляет $S_{ПК}^2 = 376420$.

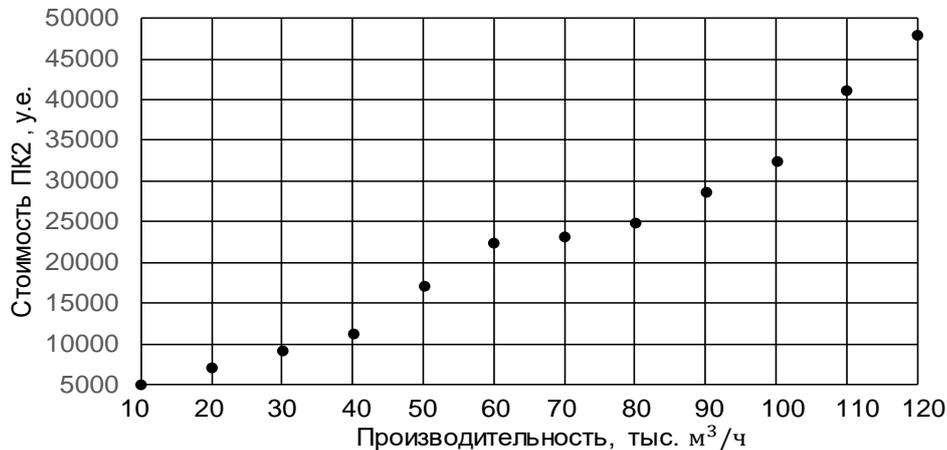


Рисунок 2 – Стоимость блочных приточных камер ПК2.

Дискретное распределение стоимости приточных камер заменим непрерывным в пределах существующего диапазона производительности. Функция приближённой регрессии имеет вид:

$$C_{ПК} = 6980 - 374,05 \cdot Q_{ПК} + 22,52 \cdot Q_{ПК}^2 - 0,287 \cdot Q_{ПК}^3 + 0,0012052 \cdot Q_{ПК}^4, \quad (1)$$

где $Q_{ПК}$ – номинальная производительность приточной камеры, тыс. м³/ч.

Дисперсия адекватности модели (1) оценки стоимости равна: $S_{ад.}^2 = 15132268$. Расчётное значение критерия адекватности полученной модели (критерий Фишера): $F_{ад}^{расч.} = 3,5$. Табличное значение составляет $F_{ад}^{табл.} = 3,84$ (при доверительной вероятности 95%) [2].

Транспортирование и распределение вентиляционного воздуха по помещениям производится по воздуховодам или каналам. Протяжённость, размер и форма сечения этих элементов влияет на рабочие характеристики такого важного оборудования как вентиляторы и, соответственно, на потребление энергии в системах вентиляции. Назначение характеристик воздуховодов определяется архитектурно-планировочными решениями объекта и некоторым «произволом» в выборе размеров сечения. Поэтому представляется необходимым при выборе варианта системы иметь возможность оперативно выявлять экономические параметры этих систем.

В данной работе приведены результаты составления математической модели стоимости стальных воздуховодов, образующих коммуникационную систему для перемещения воздуха. Металлические воздуховоды относятся к

наиболее технологичному, безопасному и надёжному типу изделий. Обладая хорошими аэродинамическими параметрами, долговечностью и простотой монтажа, они представляют средний уровень цен на отечественном рынке.

На рисунке 3 приведена диаграмма усреднённой стоимости воздуховодов $C_{вд.}$ (в условных единицах (у.е.), принятых в размере 1у.е.=100 руб.) [3]. Цена представлена на 1 м длины прямого воздуховода эквивалентного диаметра: для круглого сечения он совпадает с геометрическим; для прямоугольного эквивалентный диаметр определён из условия равенства площадей сечений. Средне-квадратичная ошибка оценки стоимости воздуховодов круглого сечения относительно среднего значения составляет 8%, прямоугольных – 12 %. Дисперсии статистического разброса стоимости составляют соответственно $S_{кр.}^2 = 2,8$ и $S_{пр.}^2 = 2,4$.

Дискретное распределение стоимости воздуховодов заменим непрерывным в пределах принятого ряда размера сечения. Функции приближённой регрессии имеют вид:

- для воздуховодов круглого сечения:

$$C_{вд.кр.} = 0,41 \cdot 10^{-4} \cdot d_э^2 + 0,031 \cdot d_э - 0,283, \quad (2)$$

- для воздуховодов прямоугольного сечения:

$$C_{вд.пр.} = 0,33 \cdot 10^{-4} \cdot d_э^2 + 0,063 \cdot d_э - 2,66, \quad (3)$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр воздуховода, мм.

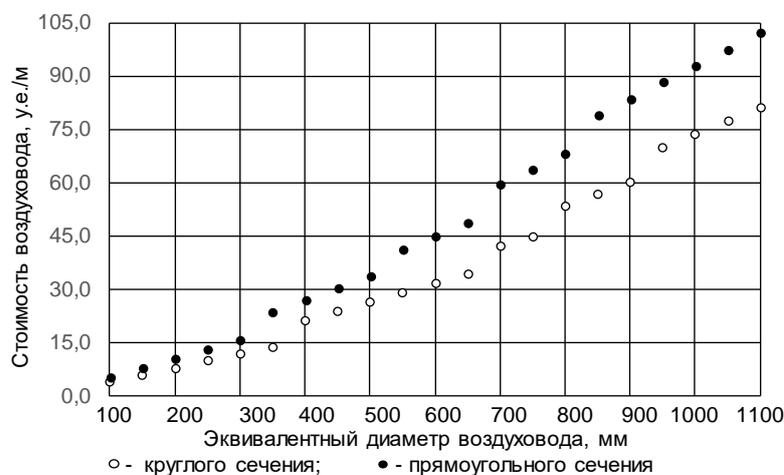


Рисунок 3 – Стоимость воздуховодов из оцинкованной стали.

Дисперсии адекватности моделей (2) и (3) оценки стоимости соответственно равны: $S_{вд.кр.}^2 = 2,84$ и $S_{вд.пр.}^2 = 6,39$. Расчётные значения критерия адекватности полученной модели (критерий Фишера): $F_{ад.вд.кр.}^{расч.} = 1,08$, $F_{ад.вд.пр.}^{расч.} = 2,73$. Табличное значение составляет $F_{ад}^{табл.} = 2,64$ (при доверительной вероятности 95%) [2].

Система воздуховодов состоит не только из прямых участков, но и включает фасонные элементы – переходы, отводы, тройники, шиберы и т.п. Стоимость фасонных деталей зависит от их вида, диаметра и количества в сети.

Стоимость фасонных элементов представим в долях от стоимости прямого участка:

$$C_{\text{ф.эл.}d} = \sum_i^m n_{\text{ф.}i.d} \cdot k_{\text{ф.}i.d} \cdot C_{\text{ф.эл.}d}, \quad (4)$$

где $n_{\text{ф.}i.d}$ – количество фасонных деталей данного вида и диаметра в системе, шт.; $k_{\text{ф.}i.d}$ – коэффициент, выражающий соотношение между стоимостью одной единицы фасонного элемента и стоимостью 1 м прямого воздуховода, м/шт.; $C_{\text{вд.}d.э}$ – стоимость одного погонного метра воздуховода, у.е./м.

Значение коэффициентов $k_{\text{ф.}i.d}$ для основных фасонных деталей приведены на рисунке 4. Данное распределение аппроксимируется выражением (5) с ошибкой не более 6%:

$$k_{\text{ф.}i.d} = 1,53 \cdot (0,02 \cdot d_э - 1)^{-0,071}. \quad (5)$$

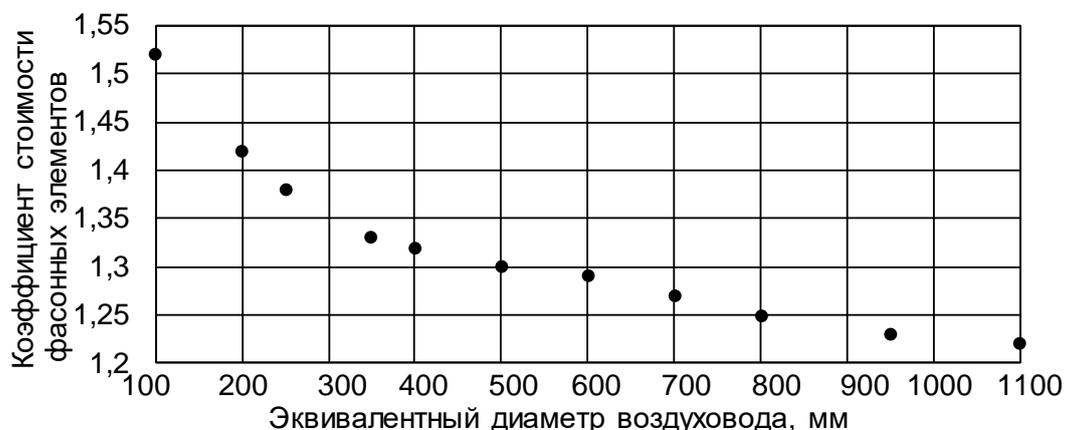


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента соотношения стоимости фасонных элементов от стоимости воздуховодов из оцинкованной стали.

Количество фасонных элементов в сети воздуховодов можно принять по норме расхода материалов [4]. Распределение интегрального значения этого показателя по диаметрам вентиляционной сети представлено на рисунке 5. Данное распределение аппроксимируется выражением (6) с ошибкой не более 5%:

$$n_{\text{ф.}i.d} = 0,987 \cdot (0,02 \cdot d - 1)^{-0,4}. \quad (6)$$

С учётом выражений (5) и (6) формулу (4) удобно представить в следующем виде:

$$C_{\text{ф.эл.}d} = 1,51 \cdot (0,02 \cdot d - 1)^{-0,471} \cdot C_{\text{вд.}d.э}. \quad (7)$$

Стоимость системы воздухораспределения $C_{\text{свр}}$ (у.е.) представим в зависимости от номинальной производительности единичного элемента $q_{\text{вр.н}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$C_{\text{свр}} = N_{\text{свр}} \cdot q_{\text{вр.н}} \cdot \bar{c}_{\text{вр.}}, \quad (8)$$

где $\bar{c}_{\text{вр.}}$ – удельная стоимость воздухораспределителя, отнесённая к его номинальной производительности (при скорости воздушной струи в живом сечении 2 м/с), у.е./($\text{м}^3/\text{ч}$); $N_{\text{свр}}$ – число воздухораспределителей в системе вентиляции, шт.; $q_{\text{вр.н}}$ – номинальная производительность воздухораспределителя, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$q_{\text{вр.н}} = 3600 \cdot v_{o.н} \cdot F_o, \quad (9)$$

где $v_{o.n}$ – номинальная скорость потока в живом сечении, принята 2 м/с.; F_o – площадь живого сечения устройства, м².

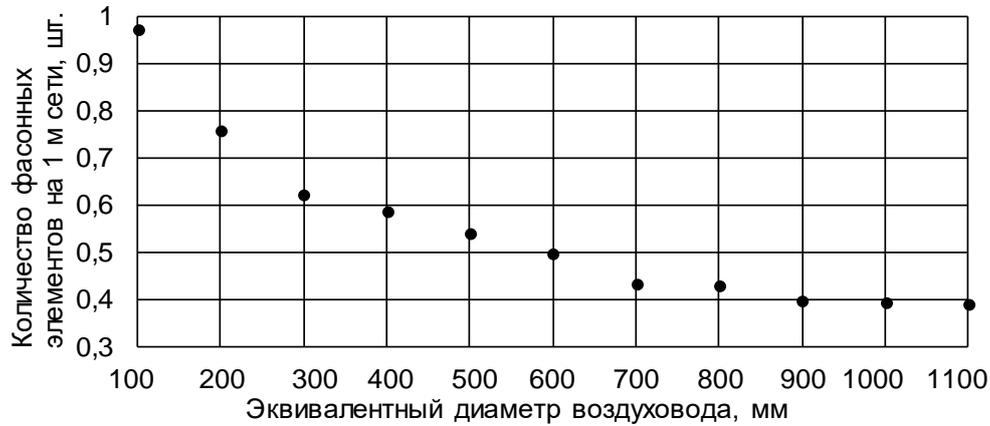


Рисунок 5 – Зависимость количества фасонных элементов от диаметра сети воздуховодов.

На рисунке 6 представлено статистическое распределение удельной стоимости воздухораспределителей от их номинальной производительности.

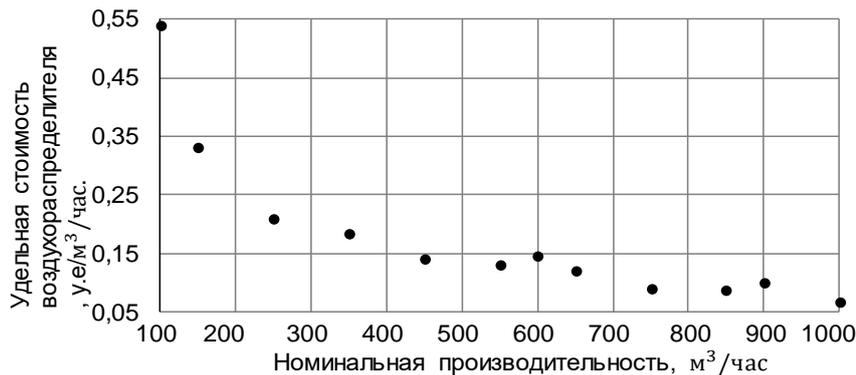


Рисунок 6 – Распределение удельной стоимости воздухораспределителей от номинальной производительности.

Дискретное распределение удельной стоимости $\bar{c}_{вр}$ может быть представлено уравнением:

$$\bar{c}_{вр} = 0,54 \cdot (0,02 \cdot q_{вр.н} - 1)^{-0,635}. \quad (10)$$

Количество воздухораспределителей в системе определится фактической производительностью единичного элемента $q_{вр}$ и производительностью системы вентиляции $Q_{св}$ (м³/ч):

$$N_{свр} = \frac{Q_{св}}{q_{вр}}. \quad (11)$$

Основная характеристика системы вентиляции – производительность $Q_{св}$ (м³/ч), определяемая расчётным воздухообменом в помещении. Представим стоимость воздуховодов через этот показатель.

Пропускная способность системы воздуховодов определяется скоростью воздуха $v_{вд}$ (м/с). Производительность можно представить через соотношение:

$$Q_{св} = 3600 \cdot \bar{v}_{вд} \pi \frac{d^2}{4} = 0,002826 \cdot v_{вд} \cdot d^2, \quad (12)$$

где $\bar{v}_{вд}$ – средняя скорость воздуха в сети, м/с; d – эквивалентный диаметр воздуховода, мм.

В системах приточной механической вентиляции эта скорость рекомендуется в пределах (6-8) м/с в начале сети и (2-5) м/с в конце [5]. В среднем можно принять $\bar{v}_{вд} = 5$ м/с. Тогда выражения (2), (3) и (7) примут вид:

$$C_{вд.кр} = 0,003 \cdot Q_{св} + 0,261 \cdot Q_{св}^{0,5} - 0,283, \quad (13)$$

$$C_{вд.пр} = 0,0023 \cdot Q_{св} + 0,531 \cdot Q_{св}^{0,5} - 2,65, \quad (14)$$

$$C_{ф.эл.} = 1,51 \cdot (0,168 \cdot Q_{св}^{0,5} - 1)^{-0,471} \cdot C_{вд}. \quad (15)$$

Полученная система уравнений (1–3), (7), (10), (13–15), выражающих зависимость стоимости приточной системы вентиляции, обеспечивающей все наиболее востребованные режимы обработки воздуха, может быть использована при обосновании выбора наиболее рациональной схемы вентиляции по экономическому критерию.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТПР: Камера приточная (ПК2). Серия 5.904-75.94.
2. **Вознесенский, В.А.** Математическое моделирование в технико-экономических задачах / В.А. Вознесенский. – Москва: Финансы и статистика, 1986. – 315 с. – Текст : непосредственный.
3. Каталог ООО «Сантехника-ОНЛАЙН»//<https://santehnika-online/catalog/>.
4. Монтаж вентиляционных систем. Справочник монтажника / Б.А. Блюменкранц, А.С. Павлов, А.Д. Рыжак, И.Г. Староверов. – Москва: Стройиздат, 1978 – 477 с. – Текст : непосредственный.
5. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические системы // Под ред. И.Г. Староверова. Ч. 2. Вентиляция. – Москва: Стройиздат, 1993. – 896 с. – Текст : непосредственный.