

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГОДА

Лобикова Н. В., Лобикова О. М., Галюжин С. Д., Галюжин А. С.

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

Производительность труда напрямую зависит от качества воздуха в производственном помещении. Требуемое качество воздуха достигается различными системами, важнейшей из которых является система вентиляции, обеспечивающая удаление загрязненного воздуха из помещения в окружающую атмосферу (вытяжка), а также подачу в помещение свежего воздуха. При этом в холодный период года вместе с загрязненным воздухом выбрасывается тепло, которое целесообразно утилизировать [1]. Один из способов утилизации тепла – применение рекуператоров.

Авторами разработана методика оценки целесообразности установки рекуператоров в системе вентиляции и определение срока окупаемости проекта.

В качестве примера рассмотрим систему вентиляции производственного цеха, в котором подача приточного и удаляемого воздуха $Q_{пр} = Q_{вт} = 44500 \text{ м}^3/\text{ч} = 12,361 \text{ м}^3/\text{с}$.

Предположим, что вентиляционная система работает в зимний период при температурах приточного воздуха $T_{пр} = -22^\circ\text{C} = 251,15 \text{ К}$ и удаляемого воздуха $T_{вт} = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ К}$. Тогда внутренняя удельная энергия приточного $e_{пр}$ и удаляемого $e_{вт}$ потоков воздуха, проходящих через живое сечение в единицу времени, будет равна:

$$= Q_{пр} \cdot c_{пр} \cdot T_{пр}, \quad (1)$$

$$= Q_{вт} \cdot c_{вт} \cdot T_{вт}, \quad (2)$$

где $c_{пр}$ и $c_{вт}$ – средние удельные теплоемкости приточного и удаляемого воздуха при постоянном давлении, соответственно, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$: $c_{пр} = c_{вт} = 1,3 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ [2, с. 457].

Очевидно, что давление в цехе при подаче и удалении воздуха меняется крайне незначительно, поэтому при расчетах используем средние удельные теплоемкости приточного и удаляемого воздуха при постоянном давлении.

Расчеты с помощью зависимостей (1) и (2) показывают, что $e_{пр} = 4,036 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с} = 0,964 \cdot 10^3 \text{ Гкал}/\text{с}$; $e_{вт} = 4,711 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с} = 1,125 \cdot 10^3 \text{ Гкал}/\text{с}$. Тогда разница удельных энергий будет равна $\Delta e = e_{вт} - e_{пр} = 0,675 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{с} = 0,161 \cdot 10^3 \text{ Гкал}/\text{с}$. Это означает, что каждую секунду в окружающую среду выбрасывается $0,161 \cdot 10^3 \text{ Гкал}$. За восьмичасовую смену ($28,8 \cdot 10^3 \text{ с}$) при постоянно работающей вентиляции будет выбрасываться $\Delta e_{см} = 4,637 \text{ Гкал}$. Как правило, отопление цехов, расположенных в городе, осуществляется от центральной городской теплотрассы. При стоимости 1 Гкал в 2018 году, равной 81,42 BYN (белорусских рублей после деноминации 2017 г.), получим, что за смену потери из-за нерационального построения системы вентиляции будут составлять 377,54 BYN. За месяц (22 рабочих дня при односменной работе) такие потери составят 8305,9 BYN. Такие месячные потери сопоставимы с месячной зарплатой бригады в 7...8 рабочих.

Данная проблема в значительной мере решается установкой в вентиляционную систему рекуператора, который позволяет передать тепло от удаляемого в окружающую атмосферу загрязненного воздуха к приточному воздуху. В качестве примера рассмотрим эффективность установки широко применяемого в Европе рекуператора типа Klingenburg типа PWT 25. Основные температурные показатели данного рекуператора взяты из технической характеристики [7] и приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные температурные показатели рекуператора Klingenburg типа PWT 25

Точка измерения температуры	Температура воздуха, $^\circ\text{C}$ (К)	
	Приток	Удаление
Вход	-22 (251,15)	+20 (293,15)
Выход	+4,8 (277,95)	-3,5 (269,65)



С помощью зависимостей (1) и (2) определим внутреннюю удельную энергию приточного $e_{\text{пр.рк}}$ и удаляемого $e_{\text{вт.рк}}$ воздуха после прохождения рекуператора. После подстановки соответствующих значений получим: $e_{\text{пр.рк}}=4,47 \cdot 10^6$ Дж/с= $1,068 \cdot 10^3$ Гкал/с и $e_{\text{уд.рк}}=4,33 \cdot 10^6$ Дж/с= $1,034 \cdot 10^3$ Гкал/с. Тогда разница удельных энергий удаляемого и приточного воздуха после прохождения рекуператора будет равна: $\Delta e_{\text{рк}}=e_{\text{уд.рк}}-e_{\text{пр.рк}}=0,034 \cdot 10^3$ Гкал/с. За 8 часовую смену ($28,8 \cdot 10^3$ с) при постоянно работающей вентиляции с рекуператором будет выбрасываться $\Delta e_{\text{рк-см}}=0,98$ Гкал, т. е. потери тепловой энергии будут в 4,73 раза меньше, чем без рекуператора и составят 70,82 BYN.

Вместе с тем, при установке рекуператора увеличивается аэродинамическое сопротивление вентиляционной установки. Потери давления Δp на пневмолиниях притока и вытяжки в рекуператоре примерно равны и составляют $\Delta p_{\text{пр}}=\Delta p_{\text{уд}}=296$ Па [3]. Определим мощность потерь в рекуператоре $P_{\text{пот}}$ с помощью известной зависимости [4, с. 287–295]. При этом учтем, что $Q_{\text{пр}}=Q_{\text{уд}}$:

$$=2 Q \quad) \cdot \Delta p_{\text{пр(уд)}} \quad (3)$$

Подставив соответствующие значения в зависимость (3) получим, что $N_{\text{пот}}=7317,7$ Дж/с= $7,318$ кВт. За 8-часовую смену потери составят 58,54 кВт·ч. При расчетах потерь электрической энергии при установке рекуператора необходимо учесть КПД вентилятора. КПД современных вентиляторов составляет 85...88 % [5]. В дальнейших расчетах примем среднее значение $\eta_{\text{в}}=0,865$. С учетом этого затраты электрической энергии за смену будут больше и составят 67,68 кВт·ч. При стоимости 1 кВт·ч электроэнергии в промышленности в 2018 году, равной 0,24048 BYN, на преодоление аэродинамических сопротивлений в рекуператоре за смену будет дополнительно затрачиваться 16,28 BYN.

Рассмотрим физическую сущность потерь мощности в самом рекуператоре. С точки зрения аэродинамики рекуператор представляет собой аэродинамическое сопротивление, при преодолении которого из-за увеличенного внутреннего трения в воздухе происходит нагрев этого воздуха, т.е. за смену 58,54 кВт·ч электрической энергии превратятся в тепловую энергию. При испытаниях данное явление учтено производителем рекуператора в температурных показателях таблицы 1.

Из-за наличия потерь в самом вентиляторе 9,14 кВт·ч электрической энергии за смену в обоих вентиляторах будет превращаться также в тепловую энергию. При этом будут нагреваться электродвигатель вентилятора, рабочее колесо и корпус вентилятора, а также воздух при воздействии на него лопастей вентилятора. При компоновке вентиляционной установки удаляемый воздух будет дополнительно нагреваться от вентилятора до рекуператора и примерно половину данной тепловой энергии отдавать приточному воздуху. На пневмолинии притока вентилятор 1 установлен после рекуператора, поэтому все тепло от него будет отдаваться приточному воздуху (при соответствующем утеплении стенок корпуса 8 вентиляционной установки). Данный анализ означает, что около $\frac{3}{4}$ тепловой энергии (6,855кВт·ч за смену), образующейся от работы вентиляторов 1 и 2, будет отдаваться приточному воздуху, поступающему в цех. С учетом того, что 1Гкал= $1,16 \cdot 10^3$ кВт·ч, получим, что за смену приточному воздуху будет дополнительно отдано $5,91 \cdot 10^3$ Гкал тепла, а в стоимостном выражении – 0,48 BYN. Тогда действительные финансовые потери на преодоление аэродинамических сопротивлений в рекуператоре будут равны $16,28 - 0,48 = 15,8$ BYN.

Итак, потери энергии в стоимостном выражении при использовании вентиляции без рекуператора за 8-часовую смену составят 377,54 BYN, а при установке рекуператора – 95,62 BYN.

Таким образом, при установке рекуператора экономия на приобретение тепловой энергии, расходуемой на отопление цеха, за 8-часовую смену будет составлять 281,92 BYN. В холодный период года в месяц при двухсменной работе экономия будет достигать 12404,48 BYN.

Оценка срока окупаемости проекта. Следует отметить, что установка рекуператора ведет к удорожанию вентиляционной установки. Определим срок окупаемости (табл. 2).



Таблица 2. Оценка срока окупаемости проекта

Статья расходов, показатель	Значение показателя
Стоимость рекуператора Klingenburg	8309 Евро / 20220 BYN
Затраты на усложнение корпуса установки	168 Евро / 409 BYN
Экономия на отопление за месяц при применении рекуператора	5097,38 Евро / 12404,48 BYN
Срок окупаемости	1,7 месяца

Срок окупаемости проекта рассчитан исходя из того, что все это время (1,7 месяца) будут низкие температуры атмосферного воздуха, что характерно для северных районов России. Для Беларуси срок окупаемости проекта будет несколько большим – примерно один отопительный сезон.

Разработанная методика позволяет производить оценку эффективности применения рекуператоров в системах вентиляции промышленных зданий в стоимостном выражении. Методика учитывает потери энергии из-за увеличения аэродинамического сопротивления вентиляционной системы при установке рекуператора. В холодное время года установка рекуператора позволяет достичь экономии при двухменной работе более 12,4 тыс. BYN в месяц (более 5 тыс. Евро). Срок окупаемости затрат при этом не превышает отопительного сезона.

Потому при строительстве и реконструкции зданий целесообразно проектировать системы вентиляции с устройствами рекуперации тепла [6]. При дальнейшем совершенствовании систем вентиляции и применении в них встроенных тепловых насосов [7] данная методика может быть дополнена без существенных изменений.

Список литературы:

1. Лобикова Н.В. Эффективность различных систем отопления индивидуальных жилых домов с учетом экологичности проекта / Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Галюжин С.Д. // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2018. № 4 (61). С. 120-130.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. – М. : Высш.шк., 1975. – 469 с.
3. Каталог оборудования Klingenburg. Рекуперация тепла пластинчатыми теплообменниками.[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.e-o-k.ru/library/catalogs/klingenburg/10825>(дата обращения 01.12.2018).
4. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика: учебник для студентов вузов / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
5. Караджи В. Г. О высоком КПД вентиляторов и эффективности вентиляционных систем/ В. Г.Караджи, Ю.Г.Московко.[Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid.(датаобращения 01.12.2018).
6. Лобикова Н.В. Управление рисками при реконструкции жилых домов с учетом современных требований энергоэффективности: проблемы и практика решения / Лобикова Н.В., Лобикова О.М. // В сборнике: Общество. Экономика. Культура: актуальные проблемы, практика решения Сборник научных статей Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Барнаул: Изд-во Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики, 2018. С. 160-165.
7. Пат. 10437 РБ МПК F 24F 3/147. Универсальная установка для вентиляции и кондиционирования воздуха. А.В. Евдокимов, Д.С. Галюжин, С.Д. Галюжин, А.С. Галюжин; заявка № u 20140182; заявл. 16.05.2014; опубл. 01.09.2014, Бюл. № 3. – с. 105.

