

Энергосбережение в системах производственной вентиляции

Л. Д. Богуславский, д-р. экон. наук, Т. И. Королева, инж.
Водоснабжение и санитарная техника, М, 1995.

Возможности энергосбережения в системах производственной вентиляции весьма значительны — как за счет устранения перерасхода энергии по сравнению с проектными данными, так и уменьшения ее проектного расхода. К числу первых мероприятий относится регулировка сетей воздухопроводов, калориферных установок и воздушно-тепловых завес (с обязательной фиксацией её результатов). Уменьшения проектного расхода энергии достигают при использовании теплоты удаляемого из помещения воздуха или газов, выделяющихся в производственном оборудовании, при реконструкции воздушно-тепловых завес и осуществлении ряда других энергосберегающих мероприятий.

Особенностью первой группы мероприятий является весьма высокая их эффективность, достигаемая из-за малого объема одновременных затрат, требуемых для их осуществления. Высокой до последнего времени была и эффективность второй группы указанных мероприятий. Однако в последние годы темпы роста удельной стоимости выполненного из стали энергосберегающего оборудования и материалов значительно опередили темпы роста удельных затрат на электрическую и тепловую энергию. Исходя из соответствующих тарифов [1], введение в действие которых предполагалось с 1990 г., можно определить, что к началу текущего года цена 1 кВт*ч электроэнергии в среднем для производственных предприятий возросла в 220 раз (по сравнению с этими тарифами), а тепловой энергии в 350—450 раз. В то же время прямые затраты на устройство внутренних трубопроводов из водогазопроводных и бесшовных труб увеличилось в 850—900 раз. Близко к такому росту и увеличение затрат на пластинчатые калориферы, электродвигатели и другое, используемое для энергосбережения, оборудование. Как следствие, в ряде случаев соответствующие мероприятия могут оказаться экономически нецелесообразными.

Резко повысить эффективность второй группы мероприятий можно применяя более простые и, по возможности, выполненные не из металла конструкции энергосберегающего

оборудования, не требующие больших капиталовложений и изготавливаемые непосредственно на заводе-потребителе энергии.

При расчетах экономической эффективности следует помнить, что дополнительной причиной ее снижения является малый срок действия мероприятия до смены принятой производственной технологии новой (возможная экономия на затратах энергии не успеет окупить выполненные капиталовложения).

К числу уже апробированных конструкций энергосберегающего оборудования можно отнести рекуперативные теплоутилизаторы, в которых теплопередающей поверхностью является полиэтиленовая пленка, или регенеративные теплоутилизаторы с насадками, состоящими из находящихся друг над другом волнистых листов — асбестоцементных или из других материалов, имеющих достаточно высокий коэффициент теплоусвоения.

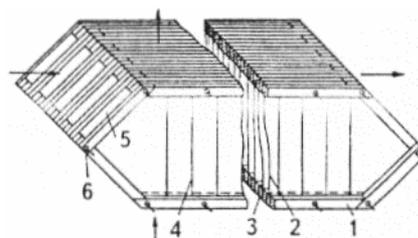


Рис. 1. Пленочный теплоутилизатор конструкции Челябинского политехнического института

Конструкции пленочных теплоутилизаторов предложены Челябинским (рис. 1) и Таллинским политехническими институтами. Первый состоит из пакета отдельных деревянных рамок 1, на которых закреплены полиэтиленовые пленки 2. Удаляемый и приточный воздух проходит через каналы 5, разделенные пленками и находящиеся под углом 90 ° друг к другу. Струны 4, армирующие пленку, прикреплены к рейкам. Последние стягиваются друг с другом с помощью болтов 6. Такая конструкция позволяет быстро заменять отдельные участки пленки, поврежденные во время монтажа устройства или его

эксплуатации.

Схема установки такого утилизатора представлена на рис. 2. Приточный воздух из воздуховода 6 поступает в утилизатор 8 и далее через воздуховод 4 направляется для окончательного догрева в калорифер 3 и центробежный вентилятор 2, а затем через воздуховод 1 поступает в помещение. Удаляемый воздух из воздуховода 5 поступает в утилизатор 8 и охлажденный удаляется через воздуховоды 12 и 14 и вентилятор 13 в атмосферу. Конденсат, образующийся при охлаждении удаляемого воздуха, отводится через трубу 10, заканчивающуюся конденсатосборным бачком 11 со спускным вентиляем. Для полного отвода конденсата воздуховод 12 монтируют с подъемом к вентилятору 13, а трубу присоединяют к этому воздуховоду в самом низкорасположенном его участке. При бездействии теплоутилизатора потоки удаляемого и приточного воздуха минуют его и направляются через обводные воздуховоды 7 и 9.

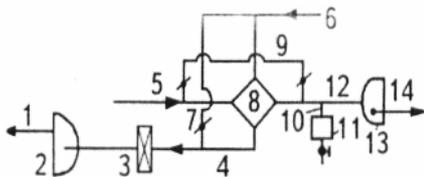


Рис. 2. Схема установки пленочного теплоутилизатора

До получения более точных результатов работы таких теплоутилизаторов расчет их допустимо производить по формулам [2], учитывающим массовую скорость воздуха w :

коэффициент теплопередачи, Вт/(м²°С)

$$k' = 4,5(w\rho)^{0,6}; \quad (1)$$

полное аэродинамическое сопротивление установки, Па

$$\Delta p = 2,8(w\rho)^{1,23}. \quad (2)$$

Сравнительно небольшие капиталовложения в такие утилизаторы и малая потребность в ремонте и межремонтном обслуживании делают их экономически эффективными, несмотря на небольшой срок службы (5 лет, по данным Челябинского трубопрокатного завода).

Степень экономической эффективности данного мероприятия выясняется после:

определения насколько увеличение суммарного аэродинамического сопротивления

вентиляционной системы изменит ее производительность и потребуется ли в связи с этим увеличение частоты вращения электродвигателя или смены вентилятора;

выявления наличия в местных условиях площади, необходимой для размещения теплоутилизатора; при ее отсутствии предусматриваются изменения в использовании помещения, позволяющие разместить в нем теплоутилизатор;

определения величины затрат, необходимых для реконструкции приточной и вытяжной вентиляционных систем. Все перечисленные единовременные затраты должны быть включены в величину необходимых капитальных вложений $K_{\text{ты}}$.

Однако высокие коэффициенты инфляции в нашей стране крайне затрудняют определение экономической эффективности энергосберегающих мероприятий [1]. Непредсказуемость этого коэффициента как по времени и темпу роста, так по отдельным регионам страны и материалам может привести к тому, что ранее определенная эффективность мероприятия уже через год может стать отрицательной. Поэтому рекомендуется [3] определять эту эффективность исходя из степени ее устойчивости под влиянием различных вариантов инфляции, могущих произойти в ближайшие годы в конкретных условиях осуществления данного мероприятия. При этом результат считают положительным, если при большинстве принятых сочетаний коэффициентов инфляции будет превышена ставка за банковский депозит (при отказе от мероприятия предприятие может внести соответствующие вложения в банк). Эту доходность мероприятия, %/год, определяют по формуле (3), в которой для упрощения не приведены соответствующие коэффициенты инфляции:

$$D_{\text{ты}} = 100[\Delta T - \Delta \text{Эл}_{\text{ты}} - (P_{\text{к}} + P_{\text{т}})_{\text{ты}} - B_{\text{ты}}] / K_{\text{ты}} \geq C_{\text{д}}, \quad (3)$$

где D — доходность мероприятия; ΔT — стоимость сэкономленной теплоты, р/год; $\Delta \text{Эл}_{\text{ты}}$ — стоимость электроэнергии, перерабатываемой при работе теплоутилизатора; $(P_{\text{к}} + P_{\text{т}})_{\text{ты}}$ — затраты на капитальный и текущие ремонты, а также на межремонтное обслуживание; $B_{\text{ты}}$ — отчисления на полное восстановление капитальных вложений $K_{\text{ты}}$; $C_{\text{д}}$ — ставка банковского депозита (если $C_{\text{д}} > D$, то предприятию выгоднее не устанавливать теплоутилизатор, а деньги в размере $K_{\text{ты}}$ внести в банк).

Одним из показателей, существенно влияющих на доходность, определяемую из формулы (3), является $B_{\text{ты}}$. При относительно невысокой ставке C_d и малом сроке работы утилизатора (до смены действующей производственной технологии) отчисления могут составить 40 % и более от $K_{\text{ты}}$, а при нормативном сроке его службы (5 лет) 8 % и менее от этой величины. При расчетах следует исходить из тех темпов инфляции, которые планируются правительством на текущий и ближайший годы (60—100 %/год), и принимать их наибольшими для капиталовложений γ_k , варьируя, например, как 60, 70, 80, 90 и 100 %/год; несколько меньшими для эксплуатационных затрат γ_n — 55, 65, 75, 85 и 95 %/год (по мере приближения отечественных цен на топливо к мировым темпы их инфляции будут снижаться) и наименьшими для депозитных ставок γ_d — 40, 50, 60, 70, 80 %/год. Допустимо также усреднять темпы инфляции в течение всего срока предстоящей работы теплоутилизатора [3]. Степень устойчивости экономической эффективности мероприятия определяют исходя из количества результатов соотношения его доходности к величине: $C_d(1 + \gamma_d)$ — оно должно быть не меньше 65 % всего количества сочетаний различных величин $\gamma_k, \gamma_n, \gamma_d$ [3].

Пример. Спроектировать теплоутилизатор конструкции Челябинского политехнического института и определить экономическую эффективность его применения при следующих условиях: расход воздуха $V = 9000 \text{ м}^3/\text{ч}$; массовая скорость его в живом сечении $w_p = 7 \text{ кг}/\text{м}^2 (k' = 14,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \Delta p = 400 \text{ Па})$; расчетная и средняя в отопительном периоде температура наружного воздуха ... соответственно -30 и $-5 \text{ }^\circ\text{C}$; температура удаляемого воздуха $t_{\text{уд}}$; длительность работы $n_{\text{ты}} = 2500 \text{ ч}/\text{год}$. Для таких эффективных конструкций теплоутилизаторов коэффициент рекуперации E следует принимать не менее 0,5.

Задаем длину теплоутилизатора 2 м и высоту 1,5 м. Площадь теплообмена, м^2 , определяется по формуле:

$$F_{\text{ты}} = 1,2 Q_{\text{ты}} / k'(t_{\text{уд}} - t_n), \quad (4)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий постепенное загрязнение пленки; $Q_{\text{ты}}$ — расчетная теплопроизводительность установки, Вт:

$$Q_{\text{ты}} = V \rho c(t_{\text{уд}} - t_n)E, \quad (5)$$

где c — теплоемкость воздуха, $\text{Вт}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

$Q_{\text{ты}} = 9000 \cdot 1,2 \cdot 0,28(20+30)0,5 \cdot 10^{-3} = 77 \text{ кВт}$.

$$F_{\text{ты}} = 1,2 \cdot 77 \cdot 10^3 / 14,6(20+30) = 126 \text{ м}^2.$$

При расстоянии между двумя рядами пленки 0,025 м и принятыми длиной и высотой теплоутилизатора его ширина будет равна $126/3 \cdot 0,025 = 1,1 \text{ м}$.

№ п.п.	γ_k	γ_n	γ_d	$D/(1+\gamma_d)C_d$
1	60	55	40	1,44(0,98)
2	60	55	50	1,39(0,91)
3	60	55	60	1,25(0,86)
4	60	55	70	1,18(0,81)
5	60	55	80	1,12(0,76)
21	60	95	40	1,8(1,41)
22	60	95	50	1,68(1,3)
23	60	95	60	1,57(1,22)
24	60	95	70	1,48(1,16)
25	60	95	80	1,4(1,09)
101	100	55	40	1,15(0,79)
102	100	55	50	1,07(0,73)
103	100	55	60	1(0,69)
104	100	55	70	0,95(0,65)
105	100	55	80	0,89(0,61)
121	100	95	40	1,44(1,08)
122	100	95	50	1,39(1,01)
123	100	95	60	1,25(0,95)
124	100	95	70	1,18(0,89)
125	100	95	80	1,12(0,85)

Определим величину D в настоящее время, т.е. без учета предстоящей инфляции: $K_{\text{ты}} = 410 \text{ тыс. р.}$; стоимость электроэнергии 10 р/(кВт*ч), а тепловой — 3000 р/(МВт*ч); $(P_k + P_{\text{т}})_{\text{ты}} = 2 \%$ от $K_{\text{ты}}$; $B_{\text{ты}}$ при сроке предстоящей работы теплоутилизатора 5 лет равны 0,08 $K_{\text{ты}}$ [3], а при двух годах работы — 0,4 $K_{\text{ты}}$. При нормально функционирующей экономике C_d не превышает 25 %/год. При 5 годах предстоящей работы теплоутилизатора:

$$D = 100[2500 \cdot 0,77(20+5)3000 / (20+20) - 9000 \cdot 40 \cdot 0,01 \cdot 2500 / (3600 \cdot 102 \cdot 0,7) - (0,02+0,08)410] / 410 = 0,53 > 0,25.$$

Следовательно, данное мероприятие экономически эффективно. Однако при предстоящем сроке службы теплоутилизатора 2 года $D = 0,21$ и его применение нецелесообразно. При увеличении этого срока до 3 лет $D = 0,4$,

а до 4 лет $D = 0,49$.

Определим, как изменятся полученные результаты при учете предстоящей инфляции. Частично такие расчеты приведены в таблице: первыми приведены значения $D_{ту}/C_d(1+\gamma_d C_d)$ при 5 годах предстоящей работы теплоутилизатора, а вторыми — при 3 годах его работы.

Из таблицы можно сделать следующие выводы:

если предстоящий срок службы теплоутилизатора примерно равен сроку его физического износа (около 5 лет), то осуществление этого мероприятия экономически весьма эффективно: отношение доходности к величине депозитной ставки, определенной с учетом предстоящей ее инфляции, больше единицы в 88 % всех возможных сочетаний величин γ_k , γ_n и γ_d . Это свидетельствует о большой устойчивости данного мероприятия в различных условиях предстоящей инфляции и поэтому оно может быть рекомендовано для широкого применения в производственных мероприятиях;

если теплоутилизатор начинает работать в условиях, когда предстоящий срок его деятельности меньше срока физического износа (например, через 3 года), то устойчивость его экономической эффективности значительно снижается и в этих случаях применять данное мероприятие следует только, если среднее отношение $D/(1+\gamma_d)C_d$ окажется не меньшим, чем 0,85—0,9.

Значительный интерес представляет получивший распространение за рубежом регенеративный теплоутилизатор с двумя неподвижными насадками (рис. 3), составленными из ряда находящихся друг над другом волнистых листов — асбестоцементных или иных. Автоматически действующая заслонка периодически (1 раз в 1—1,5 мин) изменяет направление воздушных потоков.

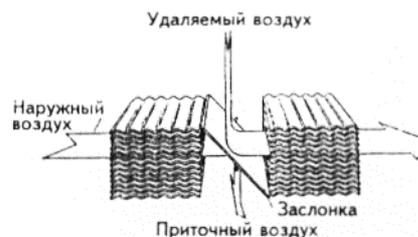


Рис. 3. Теплоутилизатор с двумя насадками

В такой конструкции сравнительно малая стоимость материала насадок вполне компенсирует дополнительные затраты на заслонку, и этим объясняется значительная эффективность мероприятия в целом. Отсутствие в настоящее время точных данных об аэродинамическом сопротивлении утилизатора позволяет временно принимать его примерно таким же [4], как и у шестипластинчатого сепаратора с расстоянием между пластинами 30 мм и углом поворота пластин 30° (коэффициент местного сопротивления 12,5).

Выводы

Экономическое обоснование энергосберегающих мероприятий, намеченных к осуществлению на действующих предприятиях, позволяют им экономить энергию с наибольшей выгодой и обеспечивать существенное повышение уровня их рентабельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прейскурант № 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию / Государственный комитет СССР по ценам. — М.: Прейскурантиздат, 1988.
2. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. Пособие. — М.: Стройиздат, 1990.
3. Богуславский Л. Д., Богуславский В. Л., Королева Т. И. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий в производственной вентиляции // Водоснабжение и сан. техника, 1993, № 10.
4. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. — 2-е изд. - Киев: Будивельник, 1976.