

Сериков С. В., аспирант,  
Ильина Т. Н., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ\*

sstvkv@yandex.ru

Рассмотрены способы утилизации тепловых выбросов. Разработана дополнительная система воздушного отопления цеха по производству изделий из оцинкованной стали ООО «ЭнергоВент». Произведены замеры параметров теплоносителей, выполнен расчет системы утилизации тепла уходящих газов котельной установки. Показана экономическая целесообразность использования вторичного тепла в системе воздушного отопления производственного цеха.

**Ключевые слова:** котельная установка, дымоход, уходящие газы, утилизация, воздушная тепловая завеса, приточная вентиляция.

Во многих технологических процессах образуется значительный объем уходящего тепла. Примерами могут служить выпускные трубы котлов или печей; выпарные установки; сушилки; теплота при сжигании отходов; теплота, содержащаяся в шлаках котельных, горячем жоме сахарных заводов, горячем хлебе хлебозаводов; в удаляемом воздухе из горячих цехов[1]. Расчет теплового баланса пекарного цеха хлебозавода ООО «Ваш хлеб» свидетельствует о значительных теплоизбытках в цехе, которые в теплый период в два раза больше, чем в холодный[2,3]. Излишнее тепло, в большинстве случаев, выбрасывается в атмосферу и не используется в полезных целях.

Одним из методов экономии энергии является утилизация тепла, выделяемого при различных технологических процессах, и использование этой тепловой энергии для нужд потребителя[4-7]. В настоящее время утилизация тепла и использование возобновляемых источников энергии в системах создания микроклимата получили широкое распространение [8-10]. Основными факторами пробуждающегося в России интереса к системам утилизации тепла являются: рост цен на все виды энергоносителей; ограничения на установленную мощность (например, в центральных районах больших городов); ряд новых стандартов и технических требований, регламентирующих проектирование, изготовление и использование энергосберегающего оборудования.

Известны различные способы утилизации тепла, например, устройство для регенерации и утилизации энергии в установке техники кондиционирования и вентиляции[7], которое позволяет в переходный период года нагревать приточный воздух без дополнительного подогрева системой теплоснабжения, с одновременным

\* Исследования выполнены при частичной поддержке Совета по грантам Президента РФ (Код проекта НШ – 588.2012.8).

нагревом воды системы горячего водоснабжения. В холодный период времени приточный воздух нагревается за счет теплообмена с вытяжным воздухом и частично с помощью системы теплоснабжения здания. В теплый период происходит охлаждение приточного и вытяжного воздуха, а тепловой потенциал максимально передается системе горячего водоснабжения здания. Одним из способов утилизации тепла является его использование в системе воздушного отопления.

Объектом исследования является цех по производству изделий из оцинкованной стали ООО «ЭнергоВент» (рис. 1) с котельной, включающей котельную установку.

Вентиляция цеха осуществляется через открытые окна, форточки и дверные проемы. В котельной производственного цеха установлен водогрейный котел КЧМ-5-К, который предназначен для нагрева воды системы водяного напольного отопления цеха и радиаторного отопления офисных помещений, расположенных на втором этаже.

При высоких отрицательных наружных температурах (ниже  $-23^{\circ}\text{C}$ ) тепловой мощности системы отопления не достаточно на обогрев цеха, и параметры микроклимата не соответствуют санитарным требованиям.

Для обеспечения требуемых параметров микроклимата разработана дополнительная система воздушного отопления с утилизацией тепла уходящих газов котельной установки (рис. 1), которая работает совместно с напольным отоплением цеха в холодный и переходный периоды года.

Принцип работы воздушного отопления с утилизацией тепла уходящих газов котельной установки заключается в следующем.

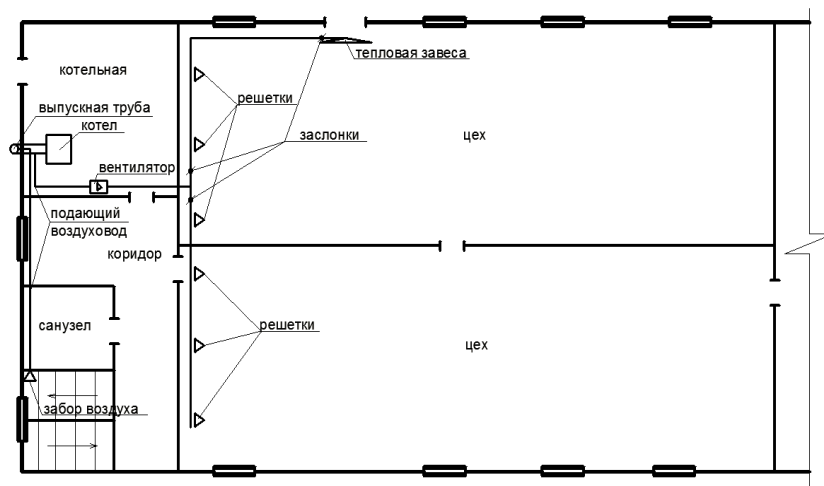


Рис. 1. Цех по производству изделий из оцинкованной стали с использованием в приточной системе вентиляции тепла уходящих газов котельной установки

Сверху и снизу выпускной трубы уходящих газов водогрейного котла врезаны воздухопроводы системы воздушного отопления – нагнетающий и подающий воздухопроводы. Забор воздуха осуществляется с коридора производственного цеха. Заборная решетка расположена в стене под потолком. Количество удаленного воздуха с коридора компенсируется приточным наружным воздухом через окна (рис. 1). Дымоход, который установлен на улице, состоит из трех частей (рис. 2):

- 1) термозащиты, состоящей из двух слоев нержавеющей стали (внутреннего и внешнего), между которыми находится утеплитель толщиной 50 мм;
- 2) нагреваемого воздуха, который находится между внутренним слоем термозащиты и наружной стенкой выпускной трубы. Воздух получает тепло через стенку выпускной трубы от уходящих газов;
- 3) выпускной трубы с уходящими газами от котла.



Рис. 2. Разрез дымовой трубы

Вентилятор прогоняет наружный воздух между внутренним слоем термозащиты и наружной стенкой выпускной трубы. Поток нагретого воздуха поступает через распределительные воздухопроводы и решетки в цех. Также нагретый воздух применяется в местной приточной системе вентиляции, в виде тепловой завесы, которая установлена над дверным проемом. Струя теплого воздуха тепловой завесы,

при открывании двери цеха для разгрузки материала или загрузке готовой продукции, не позволяет тепловому внутреннему воздуху выходить наружу, а холодному проникать внутрь помещения. Поток воздуха регулируется заслонками.

Также утилизированное тепло можно использовать в системе отопления офисных помещений второго этажа, горячем водоснабжении санитарных узлов и душа. Для этого необходима установка дополнительного теплообменника, теплового насоса или другого оборудования.

Для расчета теплового баланса системы утилизации тепла были выполнены замеры температуры, скорости нагретого воздуха в подающем воздухопроводе воздушного отопления и уходящего газа выпускной трубы, при средней теплопроизводительности водогрейного котла 30 кВт (табл. 1), с помощью Метеоскопа и газоанализатора Testo 310.

Таблица 1

**Результаты измерения параметров нагретого воздуха и уходящего газа**

Теплоноситель	Уходящие газы	Воздух
Параметры		
Сечение трубы (воздуховода), мм	203	300x200
Температура начальная, °С	198,4	20,1
Температура конечная, °С	93,1	45,3
Скорость потока, м/с	3,6	5,6

Количество тепла уходящих газов котельной установки рассчитываем по уравнению, кВт:

$$Q_g = G_g \cdot C_g \cdot (t_{н.г} - t_{к.г}), \tag{1}$$

где  $G_g$  – массовый расход уходящих газов, кг/с;  $C_g$  – теплоемкость уходящих газов, кДж/кг · К;  $t_{н.г}$  – начальная температура уходящих газов;  $t_{к.г}$  – конечная температура уходящих газов, °С,  $C_g = 0,748$  кДж/кг · К [8];  $t_{н.г} = 198,4$  °С;  $t_{к.г} = 93,1$  °С.

Массовый расход уходящих газов, кг/с:

$$G_{\Gamma} = F_{c,\Gamma} \cdot v_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}, \quad (2)$$

где  $F_{c,\Gamma}$  – площадь сечения выпускной трубы, м<sup>2</sup>;  $v_{\Gamma}$  – скорость уходящих газов в выпускной трубе, м/с;  $\rho_{\Gamma}$  – плотность уходящих газов, кг/м<sup>3</sup>,  $v_{\Gamma} = 3,6$  м/с;  $\rho_{\Gamma} = 1,097$  кг/м<sup>3</sup> [11].

$$G_{\Gamma} = 0,028 \cdot 3,6 \cdot 1,097 = 0,111 \text{ кг/с};$$

$$Q_{\Gamma} = 0,111 \cdot 0,748 \cdot (198,4 - 93,1) = 8,7 \text{ кВт.}$$

Требуемое количество тепла на нагрев воздуха в системе воздушного отопления рассчитываем по уравнению, кВт:

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к,в}} - t_{\text{н,в}}), \quad (3)$$

где  $G_{\text{в}}$  – массовый расход воздуха, кг/с;  $C_{\text{в}}$  – теплоемкость воздуха, кДж/кг · К;  $t_{\text{н,в}}$  – начальная температура воздуха;  $t_{\text{к,в}}$  – конечная температура воздуха, °С,  $C_{\text{в}} = 1,005$  кДж/кг · К;  $t_{\text{н,в}} = 20,1$  °С;  $t_{\text{к,в}} = 45,3$  °С.

Массовый расход воздуха в системе воздушного отопления, кг/с:

$$G_{\text{в}} = F_{c,\text{в}} \cdot v_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (4)$$

где  $F_{c,\text{в}}$  – площадь сечения воздухопровода, м<sup>2</sup>;  $v_{\text{в}}$  – скорость воздуха в воздуховоде, м/с;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,  $v_{\text{в}} = 5,6$  м/с;  $\rho_{\text{в}} = 1,128$  кг/м<sup>3</sup> [8].

$$G_{\text{в}} = 0,045 \cdot 5,6 \cdot 1,128 = 0,284 \text{ кг/с};$$

$$Q_{\text{в}} = 0,284 \cdot 1,005 \cdot (45,3 - 20,1) = 7,2 \text{ кВт.}$$

Из приведенных выше расчетов следует, что количество теплоты уходящих газов котельной установки при средней производительности водогрейного котла 30 кВт составляет 8,7 кВт. Для разработанной системы воздушного отопления цеха требуется 7,2 кВт, что составляет более 80% от тепловой мощности дымовых газов, т.е. имеются резервы для более полного извлечения тепла.

Таким образом, дополнительная система воздушного отопления за счет утилизации тепла уходящих газов котельной установки позволяет совместно с напольным отоплением поддерживать требуемые параметры микроклимата производственного цеха в холодный период года при низких отрицательных температурах (ниже -23 °С). При более высоких температурах наружного воздуха в холодный период года использование дополнительного воздушного отопления позволяет снизить количество тепла на водяное отопление примерно на 20%, что уменьшает расход топлива в котельной установке и количество вредных выбросов в окружающую среду.

Таким образом, утилизация тепловой энергии уходящих газов решает комплексную задачу экономии природных ресурсов и защиты окружающей среды от загрязнений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пи-

щевой промышленности. М.: Изд. АСВ, 2001. 240 с.

2. Утилизация вторичного тепла в производственных цехах хлебопекарных предприятий / Т.Н. Ильина, Р.Ю. Мухамедов, С.В. Сериков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 146-149.

3. Сериков С.В. Анализ параметров микроклимата пекарного цеха хлебозавода ООО «Ваш хлеб» [Электронный ресурс] / V Международный студенческий форум «Образование, наука, производство». Белгород. 2011.

4. Минко В.А., Ильина Т.Н., Потапова О.Н. Анализ способов утилизации вторичного тепла от технологического оборудования в производственных цехах молочных комбинатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №4. С.109-112.

5. Особенности теплообмена воздушных прослоек с с внутренними криволинейными канавками / В.А. Минко, Н.С. Кобелев, П.Ю. Щедрин, Г.Г. Щедрина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №2. С.149-152.

6. Способы энергосбережения в системах создания микроклимата / Т.Н. Ильина, А.Ю. Феоктистов, Р.Ю. Мухамедов, С.В. Сериков // Энергосбережение и экология в жилищно – коммунальном хозяйстве и строительстве городов: Международ. науч.-практ. конф. / Белгород. гос. технол.ун.-т. – Белгород: Изд. – во БГТУ, 2012. С. 244 – 248.

7. Патент РФ № 2011108998, 27.07.2011. Ильина Т.Н, Мухамедов Р.Ю., Сериков С.В. Устройство для регенерации энергии в установке техники кондиционирования и вентиляции // Патент России № 106938. 2011. Бюл. №21.

8. Щукина Т.В. Разработка технологий повышения энергоактивности зданий с системами солнечного теплоснабжения // Промышленное и гражданское строительство. 2008. №2. С. 42-44.

9. Сотникова О.А., Чуудинов Д.М., Щукина Т.В. Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения // Промышленная энергетика. 2008. №6. С.50-52.

10. Кущев Л.А., Золотухин А.П., Савкин Д.А. Применение инъекции в тепловой насосной установке для повышения энергоэффективности системы / Инновационные материалы и технологии: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Белгород : Изд-во БГТУ, 2012. Ч.1. – С.167-174.

11. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену. М.: Изд. МЭИ, 2008. 196 с.