

где  $c_{p1}$  – удельная теплоемкость вытяжного воздуха, кДж/(кг·°С);

$t_1''$  – конечная температура вытяжного воздуха, °С.

В диапазоне значений  $h_1''$  от 9 до 30 кДж/кг предложена зависимость

$$t_1'' = 0,513h_1'' - 4,85.$$

Решение данной системы в принципе не исключает метод последовательного приближения, однако практический опыт показывает, что обычно необходимость в повторном расчете отпадает. Возможное отклонение принятого значения  $\xi$  от действительного сглаживается степенью 0,64 в уравнении (1) и влияние этой погрешности в дальнейших расчетах оказывается совсем малым.

**Цубанов И.А., Цубанова И.А.**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь*

## **ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ**

**Ключевые слова:** отношение коэффициентов теплоотдачи, коэффициент теплопередачи, число единиц переноса.

**Аннотация.** Предложен алгоритм выполнения поверочного теплового расчета кожухотрубчатых теплоутилизаторов в зависимости от геометрически и режимных параметров.

Исходными данными к поверочному расчету кожухотрубчатых теплоутилизаторов в системах вентиляции являются:

- конструктивные размеры, компоновка и технические характеристики теплоутилизатора;
- объемный расход вытяжного воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, при плотности воздуха  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>;

- начальные параметры вытяжного воздуха: температура  $t'_1$ , °С, относительная влажность  $\varphi$ , %, энтальпия  $h'_1$ , кДж/кг, температура точки росы  $t_p$ , °С;

- начальная температура приточного воздуха  $t'_2$ , °С.

Расчет выполняют при условии равенства массовых расходов приточного и вытяжного воздуха в следующей последовательности.

Принимают в первом приближении:

- коэффициент эффективности  $\varepsilon = 0,5$ ;

- коэффициент влаговываждения  $\xi = 1,5$ .

Находят предварительно:

- отношение водяных эквивалентов

$$\omega = 0,96 / \xi;$$

- конечную температуру вытяжного воздуха

$$t''_1 = t'_1 - \omega \varepsilon (t'_1 - t'_2);$$

- конечную температуру приточного воздуха

$$t''_2 = t'_2 + \varepsilon (t'_1 - t'_2).$$

Принимают теплофизические параметры воздуха при средних температурах воздушных потоков в теплоутилизаторе.

Рассчитывают скорость и число Рейнольдса для приточного и вытяжного воздуха, используя конструктивные размеры теплоутилизатора и теплофизические параметры соответствующего потока воздуха.

Находят отношение коэффициентов теплоотдачи со стороны приточного и вытяжного воздуха

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{w_2^{0,6}}{\xi c_\alpha w_1^{1,165} d^{0,565}}, \quad (1)$$

где  $w_2$  – скорость приточного воздуха в самом узком сечении межтрубного пространства, м/с;

$c_\alpha$  – коэффициент переходного режима;

$w_1$  – скорость вытяжного воздуха в трубном пучке, м/с;

$d$  – внутренний диаметр труб, м;

При  $\alpha_2 / \alpha_1$  от 1 до 3,  $Re_1$  от 5000 до  $5 \cdot 10^6$  и  $Re_2$  от 1000 до  $1 \cdot 10^6$  следует в условиях «сухого» теплообмена использовать для определения коэффициента теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), уравнение

$$k = 2,3m\alpha^{0,64} w_1^{0,512} w_2^{0,216} d^{-0,272}, \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент загрязнения труб.

При невыполнении вышеприведенных условий следует пользоваться традиционными методами расчета коэффициента теплопередачи.

Приточный воздух характеризуется меньшим значением водяного эквивалента  $W_{\text{мин}}$ , кВт/°С. При его расчете принимают удельную теплоемкость воздуха  $c_p = 1,01$  кДж/(кг·°С):

$$W_{\text{мин}} = c_p \rho L / 3600.$$

Определяют число единиц переноса при «сухом» теплообмене

$$N = kA \cdot 10^{-3} / W_{\text{мин}}, \quad (3)$$

где  $A$  – площадь поверхности теплообмена теплоутилизатора, м<sup>2</sup>.

Устанавливают вид теплообмена со стороны вытяжного воздуха.

С этой целью находят:

- относительную избыточную температуру  $i_2 = \frac{t'_1 - t_p}{t'_1 - t'_2}$ ;

- критическое значение этого параметра, характеризующее переход от «сухого» теплообмена к «мокрому»:

$$i_2^{\text{кр}} = 0,62 - 0,541 \exp -1,17N .$$

Последнее уравнение справедливо при значениях  $N$  от 0,3 до 1,5.

Если  $i_2 < i_2^{\text{кр}}$ , то происходит «мокрый» теплообмен и в расчете необходимо учесть выпадение конденсата из вытяжного воздуха.

В этих условиях конечную температуру вытяжного воздуха определяют по уравнению

$$t''_1 = t''_1 - i_1 \quad t'_1 - t_p, \quad (4)$$

где  $\theta_1$  – относительная избыточная температура, определяющая температуру вытяжного воздуха на выходе теплоутилизатора:

$$i_1 = [0,637 - 0,538 \exp -1,5N] \theta_2^{-0,805}.$$

Конечную энтальпию вытяжного воздуха находят как энтальпию насыщенного влажного воздуха при найденной температуре  $t''_1$ .

При  $i_2 \geq i_2^{\text{кр}}$  конечные параметры вытяжного воздуха определяют для условий «сухого» теплообмена по общепринятой методике.

Расчет заканчивают определением тепловой мощности теплоутилизатора и уточнением коэффициентов эффективности и влаговыпадения.

**Челомбитько М.А., к.с.-х.н., доцент, Ковтик П.В., студент  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет**

## **ВЫСОКОЕ ДАВЛЕНИЕ (НРР) – ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД НЕТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

**Ключевые слова:** пищевая промышленность, нетепловые методы обработки, высокое давление.

**Аннотация.** Нетермические методы обработки пищевых продуктов известны как минимальные методы обработки, сохраняющие пищевые и сенсорные характеристики продуктов питания, в отличие от тепловых методов обработки, а также продлевающие сроки их годности за счет ингибирования или уничтожения микроорганизмов. Одним из таких методов является метод высокого давления.

К нетепловым методам обработки пищевых продуктов относятся: высокое давление (НРР), ультразвук, импульсный свет, иррадиация, импульсные электрические поля, ультрафиолетовая обработка, холодная плазма, суперкритический диоксид углерода, микроволновое и радиочастотное нагревание.

Одной из наиболее удачных разработок на сегодняшний день является технология обработки высоким давлением (НРР - High pressure processing). При этом способе пища подвергается давлению между 100 и 1000 МПа в течение минуты. Для сравнения, атмосферное давление обычно составляет около 0,1 МПа, а давление в самой глубокой точке океана составляет около 110 МПа. Высокое давление (НРР) убивает большинство микроорганизмов, повреждая клеточные мембраны, но сохраняя сенсорные и пищевые характеристики пищевого продукта. НРР была впервые использована в