

$$E = 0,02 \frac{l^{0,66} g_2^{0,135}}{d_1^{0,85} g_1^{0,3}}, \quad (1)$$

где  $l$  и  $d_1$  – длина и внутренний диаметр трубок, м;  $g_2$  и  $g_1$  – скорости приточного и вытяжного воздуха, м/с;

– для расчета внутреннего диаметра трубок, м, при заданном коэффициенте эффективности

$$d_1 = 0,01 \frac{l^{0,78} g_2^{0,16}}{E^{1,2} g_1^{0,35}}. \quad (2)$$

Не следует считать приемлемым снижение скорости  $g_1$  с целью повышения коэффициента эффективности. Такое повышение будет достигаться за счет резкого увеличения числа труб и материалоемкости теплоутилизатора.

Нетрудно установить, что увеличение коэффициента эффективности в 1,4 раза требует (при прочих равных условиях) уменьшения скорости вытяжного воздуха и соответственно увеличения числа трубок в 3 раза.

Более эффективным методом повышения эффективности является уменьшение диаметра трубок и увеличение их длины, но при условии допустимых гидравлических сопротивлений теплоутилизатора.

При разработке компактного и эффективного теплоутилизатора необходимо использовать трубки возможно меньшего диаметра и обеспечить его работу при максимально допустимых скоростях воздушных потоков.

## **К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАХ**

Герасимович Л.С., Цубанов И.А. (БГАТУ) г. Минск

Теплоутилизаторы представляют перспективное энергосберегающее оборудование, однако до настоящего времени не выявлены области экономически целесообразного применения различных конструкций теплоутилизаторов в климатических и эксплуатационных условиях сельскохозяйственных производственных помещений.

Применение кожухотрубчатых теплоутилизаторов типа «воздух-воздух» имеет ряд преимуществ, как надежное разделение воздушных потоков, отсутствие движущихся частей, высокая технологичность изготовления, низкие аэродинамические сопротивления воздушных трактов, достаточная надежность при эксплуатации и возможность замены металла другими материалами.

Одной из основных характеристик теплообмена в теплоутилизаторе является коэффициент теплопередачи. В настоящее время существует упрощенная методика расчета коэффициента теплопередачи. Задача состоит в нахождении зависимости для расчета коэффициента теплопередачи, удобной и надежной при определении и анализе основных теплотехнических показателей работы кожухотрубчатых теплоутилизаторов.

Рассмотрим условия теплообмена в теплоутилизаторе с шахматным расположением труб. Удаляемый воздух движется внутри вертикальных труб сверху-вниз, а приточный – горизонтально в межтрубном пространстве. В этом случае упрощаются процессы очистки поверхности труб и удаления конденсата, образующегося при охлаждении удаляемого воздуха.

Коэффициент теплопередачи зависит от многих переменных, одни из которых относятся к входным (исходным), а другие – к определяющим (регулирующим) условиям теплообмена.

Входными переменными считаются теплофизические свойства удаляемого и приточного воздуха, а определяющими – скорости воздушных потоков, диаметры и длина труб, число рядов труб по ходу приточного воздуха, теплопроводность материала труб, коэффициент влаговыпадения при конденсации водяных паров в составе удаляемого воздуха и др.

Сложность физической природы процессов теплообмена и их математического описания в форме системы дифференциальных уравнений ограничивает возможности аналитического исследования.

Для решения поставленной задачи используем результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена.

При этом будем считать:

- теплоутилизатор является аппаратом с постоянными значениями переменных в его пространстве;
- теплоутилизатор работает в стационарных, установившихся условиях;
- термическое сопротивление теплопроводности стенок труб мало по сравнению с термическими сопротивлениями теплоотдачи на поверхностях труб.

Введем ограничения в рабочем диапазоне изменения переменных:

- отношение коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_2 / \alpha_1 = 1 - 4$ ;
- трубы, используемые в теплоутилизаторе, являются длинными ( $l/d \geq 50$ ), поэтому  $\epsilon_i = 1$ ;

– при движении удаляемого воздуха в трубах  $Re_1 \geq 5000$ , что обеспечивает достаточно высокий коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$ ;

– поперечный и продольный шаги между трубами примерно равны, что позволяет принять  $\varepsilon_s = 1$ ;

– отношение диаметров  $d_2 / d_1 = 1,1$ .

После решения системы уравнений получаем зависимости для расчета коэффициента теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup> К):

$$\text{– при } Re_1 = 5 \times 10^3 - 10^4 \quad k = 3,43 \xi^{0,667} g_1^{0,76} g_2^{0,2} d_1^{-0,058},$$

$$\text{– при } Re_1 = 10^4 - 5 \times 10^6 \quad k = 2,28 \mu_{ст} \xi^{0,667} g_1^{0,534} g_2^{0,2} d_1^{-0,266},$$

где  $\xi$  – коэффициент влаговыведения;  $g_1$  и  $g_2$  – скорости удаляемого и приточного воздуха, м/с;  $d_1$  – внутренний диаметр труб, м;  $\mu_{ст}$  – коэффициент, учитывающий термическое сопротивление стенок труб.

Полученные уравнения состоят из независимых переменных, которые определяют коэффициент теплопередачи в кожухотрубчатых теплоутилизаторах. Использование этих уравнений упрощает выполнение тепловых расчетов теплоутилизаторов.

## **НЕСИММЕТРИЯ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ 0,38 кВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В. М. Збродыго (БГАТУ) г. Минск

Несинусоидальность и несимметрия напряжений неблагоприятно воздействует на энергосистему и электропотребителей, вызывая увеличение потерь напряжения и мощности в сетях, уменьшение их пропускной способности, нарушение нормальной работы электрооборудования и снижение его срока службы, снижение качества и количества выпускаемой продукции, уменьшение производительности труда.

Автором проведены исследования уровней несинусоидальности и несимметрии напряжений в сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения Республики Беларусь. Установлено, что при загрузке питающих трансформаторов менее 50 % в их распределительных сетях среднесуточные и даже максимальные значения исследованных показателей качества электроэнергии в подавляющем большинстве случаев не превышают установленных ГОСТ 13109-97 нормально допустимых значений, так как