

СНИЖЕНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕГРЕВА ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ПРИБОРОМ ПРИ НИСХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ ИНФИЛЬТРИРУЮЩЕГОСЯ ВОЗДУХА

д.т.н., проф. Зайцев О.Н., аспирант Рябова Е.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка проблемы.

В Украине, как и во всем остальном мире одной из острейших проблем современности является снижение энергетических затрат на системы отопления в зданиях и сооружениях различного назначения, при этом теплопотребление производственных предприятий составляет большую часть от общего количества вырабатываемой тепловой энергии. В тоже время, в современных нормативных документах, действующих как в Украине, так и в Европейском Союзе не учитывается влияние локального перегрева термооболочки здания нагревательными приборами систем теплоснабжения или тепловыделяющего оборудования, при этом термическое сопротивление ограждающих конструкций проектируется одинаковым по всей площади, без учета температурного распределения в помещении, которое определяется аэродинамикой взаимодействующих холодных (входящих в помещение или возникающих возле наружных ограждений) и конвективных (возникающих над нагретыми поверхностями – в частности, нагревательными приборами) потоков.

Связь с научными и практическими заданиями и анализ последних исследований и публикаций.

Результирующее распределение температуры в помещении определяется мощностью этих потоков, что при повсеместном применении низкотемпературных систем теплоснабжения, не изучено, а существующие теоретические зависимости для конвективных струй не позволяют определить траекторию потоков, возникающих возле вертикальных нагретых поверхностей. Зависимости же для неизотермических струй не учитывают влияние разности температур между наружной плоскостью нагревательного прибора и внутренней поверхностью стен. Также необходимо отметить, что при превалировании мощности холодного потока над тепловым, происходит прорыв холодного воздуха в рабочую зону помещения, т.е. значительное увеличение теплопотерь, что компенсируется регулированием расхода тепла в системе отопления. Однако, такие мероприятия снижают показатели энергетической эффективности здания и не позволяют достичь максимально экономически оправданного использования топливно-энергетических ресурсов [2].

Целью данной работы является совершенствование работы систем теплоснабжения путем изменения температуры внешней поверхности нагревательных приборов и использовании аэродинамических характеристик входящих воздушных потоков для уменьшения локального перегрева ограждаю-

щих конструкций.

Основной материал исследования.

Для достижения поставленной цели была предложена новая схема организации тепломассобмена в цехах с естественной притоком наружного воздуха в помещение заключающаяся в вертикально-нисходящем перенаправлении холодного потока между нагревательным прибором и ограждающей поверхностью путем снижения температуры поверхности нагревательного прибора, обращенной к наружному ограждению до температуры внутреннего воздуха и определен наиболее рациональный температурный перепад в плоскости между нагревательным прибором и наружным ограждением. Однако, для изучения необходимо было уточнить условия формирования конвективного потока и определить метод их расчета.

Изучению закономерностей развития конвективных струй посвящен целый ряд теоретических и экспериментальных исследований. На данный момент в различных источниках приводятся формулы для расчета, как осевых скорости и перепада температур, так и в любой точке потока, в тоже время наблюдается отсутствие данных по расчету траектории оси такой струи.

В случае, когда тепловой источник расположен рядом с вертикальной поверхностью, то конвективный поток настигается на поверхность и далее распространяется по ней. Полуограниченную струю можно рассматривать как половину свободной струи, имеющей двойную площадь $2F_0$, и использовать для ее расчета формулы свободных струй [1].

Вывод расчетных зависимостей, по аналогии с [2] и [3], выполнен при тех же общепринятых допущения, что и для неизотермических струй. Для решения поставленной задачи избираем прямоугольную систему координат с горизонтальной осью Ox и вертикальной Oy , которую совмещаем с греющей поверхностью, а начало координат – с ее нижней отметкой (рис.1). Точка с максимальным значением скорости и избыточной температуры на уровне «у» находится на оси струи, а по мере удаления от этой точки скорость и избыточная температура воздуха в струе уменьшается до нуля. Для получения уравнения траекторий конвективных струй в заданных условиях нами была использована зависимость, предложенная И.А. Шепелевым [3] и геометрическая характеристика струи H , определяемая начальными условиями.

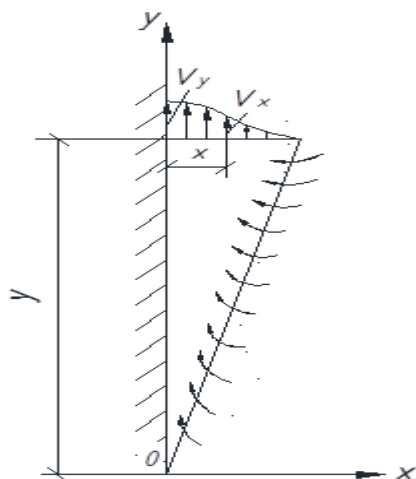


Рис. 1. Расчетная схема полуограниченной конвективной струи.

$$\text{Для осесимметричной струи} - H = \frac{0,866}{\sqrt{c}} \sqrt{\theta \cdot \varphi^3} \sqrt{\frac{T_{окр}}{g} \frac{u_o^4 \sqrt{F_o}}{\sqrt{\Delta t_o}}} \quad (1)$$

$$\text{Для плоской струи} - H = \frac{1,02}{\sqrt[3]{c}} \cdot \theta^{2/3} \cdot \varphi^2 \left(\frac{T_{окр}}{g} \right)^{2/3} \left(\frac{u_o \sqrt{\frac{F_o}{l}}}{\sqrt{\Delta t_o}} \right)^{2/3} \quad (2)$$

где c – экспериментальный коэффициент, значение которого для осесимметричных струй $c=0,082$, для плоских – $c=0,12$;

θ – поправочный коэффициент, учитывающий плотность струи;

$T_{окр}$ – абсолютная температура окружающего воздуха;

φ – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность профиля скоростей в момент восхождения конвективного потока над источником тепла;

F_o – площадь теплового источника;

l – длина вытянутого горизонтального теплового потока;

Δt_o – начальная избыточная температура струи, $\Delta t_o = t - t_{окр}$;

t – температура на поверхности теплового источника;

$t_{окр}$ – температура окружающего воздуха;

u_o – начальная скорость истечения конвективного потока от источника тепла.

Подставив в уравнения (1-2) соответствующие значения геометрической характеристики H для осесимметричных и плоских струй и текущего критерия Архимеда [2, 7] были получены уравнения траекторий полуограниченных конвективных струй в относительных координатах для рассматриваемого случая:

для осесимметричной струи

$$\bar{y} = 0,041 \cdot T_o^{1/2} \Delta t_o \left(\frac{F_o}{T_{окр}} \right)^{5/6} \left(\frac{g^{1/2} \cdot c_p \cdot \rho_{окр}}{Q_o} \right)^{2/3} \bar{x}^3 \quad (3)$$

для плоской струи

$$\bar{y} = 0,14 \cdot \left(\frac{b_o^2 (F_o)^{1/3} T_o \cdot \Delta t_o}{T_{окр}^{7/3}} \right)^{1/2} \left(\frac{g^2 \cdot c_p \cdot \rho_{окр}}{Q_o} \right)^{1/3} \bar{x}^{5/2} \quad (4)$$

Для сравнения методов, которыми были получены уравнения траекторий для полуограниченного конвективного потока были проведены расчеты для осесимметричной струи источника тепла площадью $1,0 \times 0,6 \text{ м}^2$, для плоской – $3,0 \times 0,6 \text{ м}^2$ с учетом следующих исходных данных: $T_o = 333 \text{ К}$, $T_{окр} = 293 \text{ К}$, $\Delta t_o = 40 \text{ К}$, $Q_o = 1 \text{ кВт}$. Сравнения траекторий конвективных струй проводи-

лись для уравнений представленных в относительных координатах. Результаты расчетов приведены на рис. 2-3.

Анализ графиков показал, что кривые траекторий, учитывающие текущий критерий Архимеда (кривая 2, рис. 2, 3) более изогнуты, по сравнению с кривыми соответствующими уравнениям полученным на основе траекторий воздушного фонтана (кривая 1, рис. 2, 3). В дальнейшем при расчете траекторий полуограниченных конвективных струй более рационально применять следующие уравнения: для осесимметричной струи (3), а для плоской - (4), т.к. Архимедовы силы в значительной степени влияют на формирование конвективных струй.

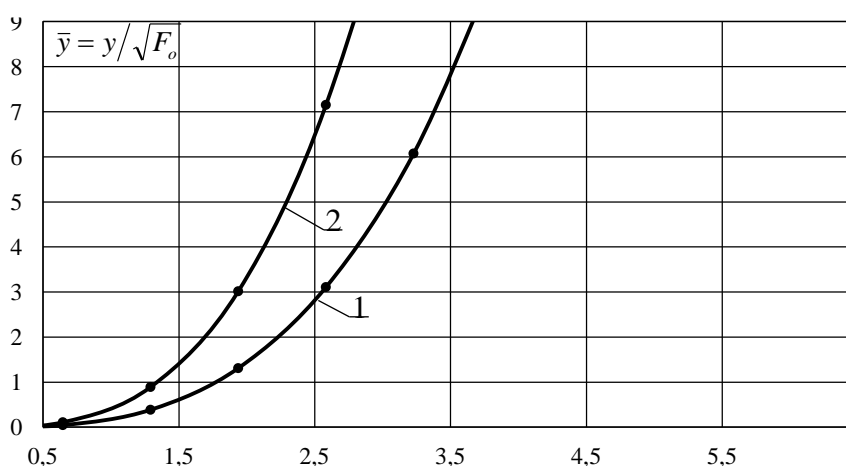


Рис. 2. Сравнительный график траекторий полуограниченных осесимметричных конвективных струй

$$1 - \bar{y} = 0,018 \cdot T_o^{1/2} \Delta t_o \left(\frac{F_o}{T_{окр}} \right)^{5/6} \left(\frac{g^{1/2} \cdot c_p \cdot \rho_{окр}}{Q_o} \right)^{2/3} \bar{x}^3 \quad \bar{x} = x / \sqrt{F_o}$$

$$2 - \bar{y} = 0,041 \cdot T_o^{1/2} \Delta t_o \left(\frac{F_o}{T_{окр}} \right)^{5/6} \left(\frac{g^{1/2} \cdot c_p \cdot \rho_{окр}}{Q_o} \right)^{2/3} \bar{x}^3$$

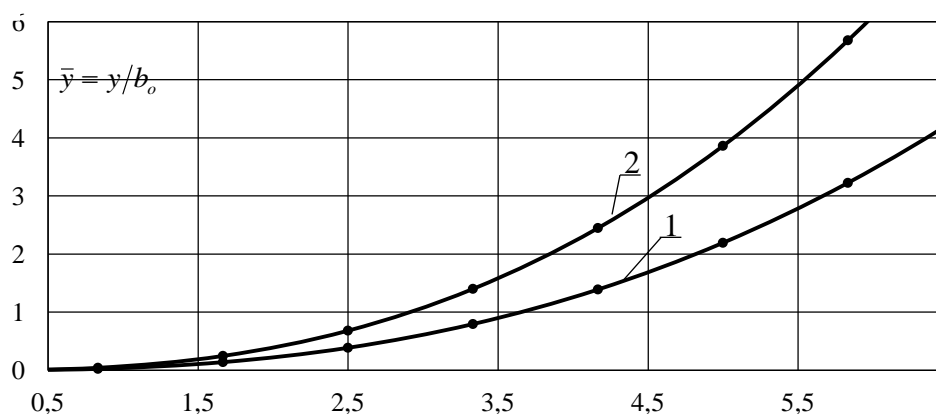


Рис. 3. Сравнительный график траекторий полуограниченных плоских конвективных струй

$$1 - \bar{y} = 0,08 \cdot \left(\frac{b_o^2 (F_o)^{1/3} T_o \cdot \Delta t_o}{T_{окр}^{7/3}} \right)^{1/2} \left(\frac{g^2 \cdot c_p \cdot \rho_{окр}}{Q_o} \right)^{1/3} \bar{x}^{5/2} \quad \bar{x} = x/b_o$$

$$2 - \bar{y} = 0,14 \cdot \left(\frac{b_o^2 (F_o)^{1/3} T_o \cdot \Delta t_o}{T_{окр}^{7/3}} \right)^{1/2} \left(\frac{g^2 \cdot c_p \cdot \rho_{окр}}{Q_o} \right)^{1/3} \bar{x}^{5/2}$$

Обсуждение результатов.

Для подтверждения предложенной схемы организации тепломассобмена в цехах с естественной притоком наружного воздуха в помещение было выполнено моделирование изменения температуры на поверхности внешней ограждающей конструкции, при начальных условиях близким у экспериментальным, без (рис.4) и с теплоизоляцией (рис.5) вертикальной поверхности отопительного прибора на основе пакета программ CosmosFloWork.

Срез температуры дан на высоте 400 мм от плоскости пола.

В целом теоретические данные подтверждают работоспособность предложенной схемы организации тепломассобмена заключающаяся в вертикально-нисходящем перенаправлении холодного потока между нагревательным прибором и ограждающей поверхностью путем теплоизоляции поверхности нагревательного прибора, обращенной к наружному ограждению до температуры внутреннего воздуха, что позволило снизить теплопотери здания за счет уменьшения локального перегрева ограждающих конструкций.

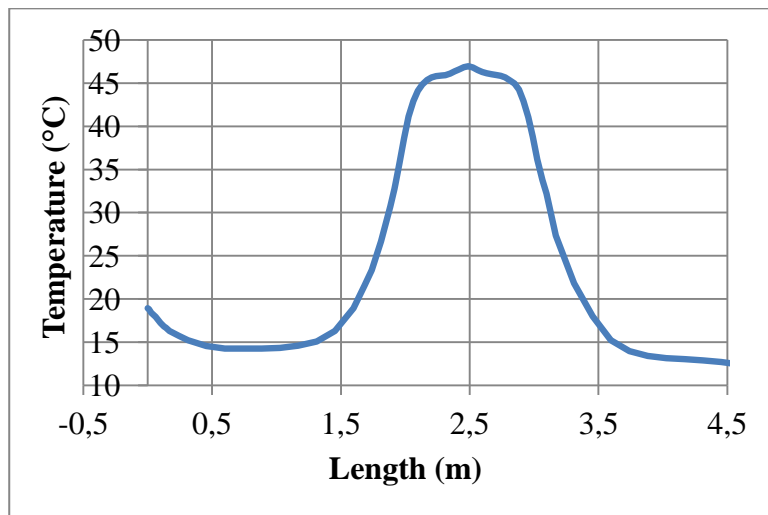


Рис.4. График изменения температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции при работе системы отопления без теплоизоляции нагревательного прибора.

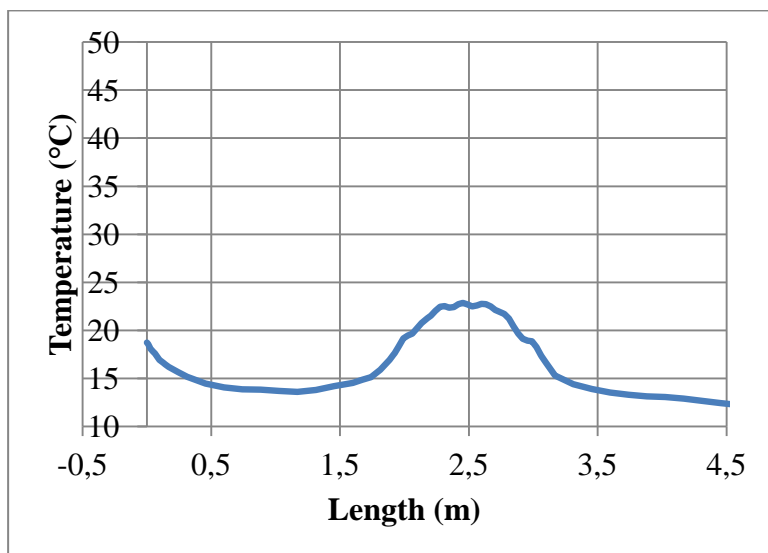


Рис. 5. График изменения температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции при теплоизоляции внешней поверхности нагревательного прибора.

Выводы.

1. Предложена новая схема организации тепломассобмена в цехах с естественной притоком наружного воздуха в помещение заключающаяся в вертикально-нисходящем перенаправлении холодного потока между нагревательным прибором и ограждающей поверхностью путем снижения температуры поверхности нагревательного прибора, обращенной к наружному ограждению до температуры внутреннего воздуха и определен наиболее рациональный температурный перепад в плоскости между нагревательным прибором и наружным ограждением, что позволило снизить теплотери здания за счет уменьшения локального перегрева и обеспечить требуемые температурные режимы в рабочей зоне помещений.

2. Уточнена методика расчета распределения воздушных потоков для производственных помещений с естественным притоком наружного воздуха при использовании систем водяного отопления с низкотемпературным теплоносителем.

Использованная литература.

1. М.С. Кузьмин, П.А. Овчинников. Вытяжные и воздухораспределительные устройства. М.: Стройиздат, 1987, 168 с.
2. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. М.: Стройиздат, 1982. 164 с.
3. П.Н. Каменев Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция, М.: Стройиздат. 1966, 480 с.
4. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М.: Стройиздат, 1978, 145 с.
5. Вентиляция и отопление цехов судостроительных заводов. Изд. 2-е, перераб. и дополн. Л., «Судостроение», 1978. Авт.: М.И. Гримитлин, О.Н. Тимофеева, Е.М. Эльтерман, Л.С. Эльянов.
6. Вентиляция и отопление цехов переработки пластмасс. – Л.: Химия, 1983. – 134 с.
7. Ткачук А.Я., Довгалюк В.Б. Аеродинаміка вентиляції. Навчальний посібник. Київ, ІВНВКП «Укреліотех», 2009, 374 с.