

ОСОБЕННОСТИ РАЗДАЧИ ТЁПЛОГО ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ С СИСТЕМАМИ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Л.Я. Баландина, к.т.н.
Руководитель НИЛАА «Арктос»

Наиболее эффективным методом обогрева помещений производственного назначения с недостатками теплоты, когда теплотери превышают теплотоступления, является использование отопительных агрегатов для нагрева приточного вентиляционного воздуха.

Следует отметить, что организация воздухообмена в помещениях, оборудованных системами вентиляции, совмещёнными с воздушным отоплением, сопряжена с рядом трудностей по обеспечению расчётной схемы подачи тёплого приточного воздуха.

Под влиянием гравитационных сил может существенно изменяться схема развития струи. Так, струя нагретого воздуха, подаваемого сверху вниз, может всплывать в верхнюю зону помещения, не достигая рабочей. В этом случае наблюдается перегрев верхней зоны и недогрев обслуживаемой. Как следствие, наряду с неудовлетворительными условиями в обслуживаемой зоне имеет место значительный перерасход тепла на обогрев помещения.

Обеспеченность расчётных внутренних условий зависит в основном от двух факторов – расчётной мощности системы (тепло- и воздухопроизводительности) и надёжности её работы.

Для правильной организации воздухообмена в помещениях и эффективного обогрева рабочей зоны, весьма существенное значение приобретает учёт влияния «архимедовых» сил, как на траекторию приточного тёплого потока, так и на общую циркуляцию воздуха в помещении.

К числу местных или децентрализованных систем относятся также воздушно-отопительные агрегаты (теп-

ловентиляторы). Как правило, они состоят из теплообменника (водяного или электрических нагревательных элементов), вентилятора (осевого или радиального) и воздухоподающего устройства.

Принцип децентрализованной вентиляции с отоплением (охлаждением) находит широкий спрос, как в зарубежных странах, так и на российском рынке.

В отличие от децентрализованных (местных) систем центральные системы воздушного отопления обслуживают, как правило, помещения большого объёма производственного назначения. Состоят они из калориферной установки, сетевого оборудования и доводчиков (при наличии необходимости обеспечения различных параметров воздуха в нескольких помещениях).

В местных и центральных системах воздушного отопления обязательно в качестве концевых устройств используются воздухораспределители различных конструктивных исполнений (решётки, плафоны, специальные закрыватели и др.).

При проектировании систем вентиляции, совмещённых с воздушным отоплением, необходимо правильно выбрать типоразмер воздухораспределителя, размеры обслуживаемой ими рабочей зоны, высоту установки воздухораспределителя и угол наклона приточного потока, его предельную дальность, исходя из начальных условий истечения приточного воздуха и обеспечения в рабочей зоне нормируемых параметров. Весьма существенное значение приобретает вопрос правильного определения максимальной разности температур между воздухом помещения в обслуживаемой зоне и на притоке.

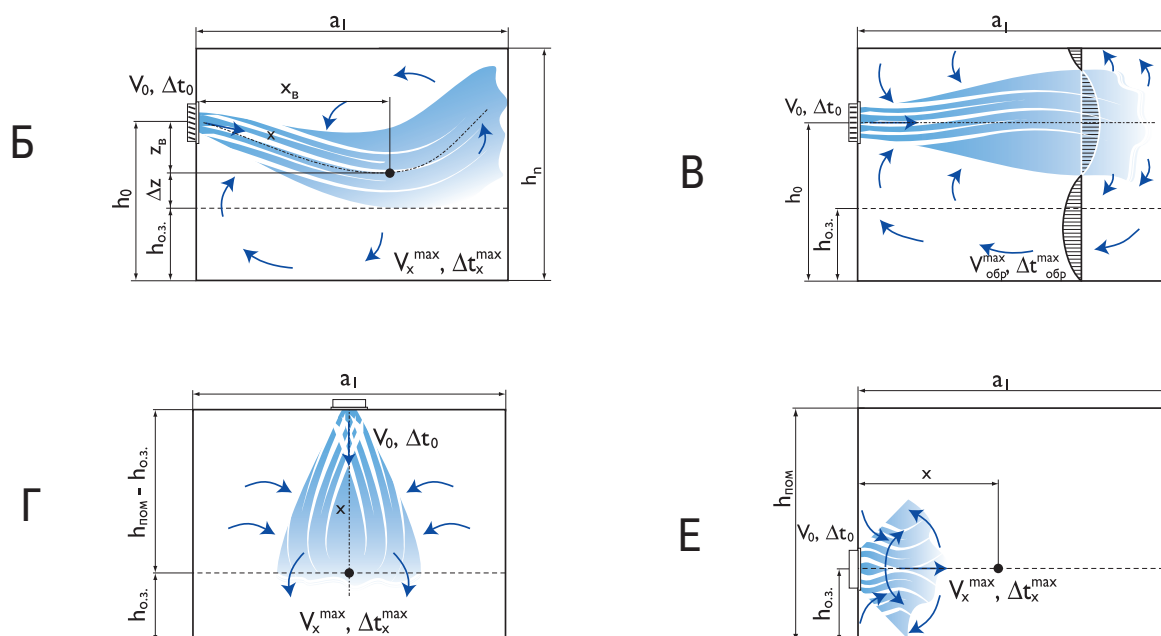


Рис.1 Схемы подачи воздуха

При правильной организации воздухораспределения скорость в приточной струе по мере приближения её к рабочей зоне должна, как правило, падать до весьма малых величин, соизмеримых с нормируемыми. В этих условиях, учитывая, что в неизотермических струях соотношение между гравитационными и инерционными силами вниз по потоку растёт, силы вытеснения начинают оказывать существенное влияние на характер развития приточных струй.

Под воздействием гравитационных сил изменяется дальность струи, её траектория, а внутри самой струи происходит перестройка скоростных и температурных полей – нарушается их подобие в поперечных сечениях.

Наиболее распространённым способом подачи тёплого воздуха в такие помещения является подача в верхнюю зону по четырём схемам подачи:

- наклонно под углом 35° к горизонту (рис. 1, схема Б);
- горизонтальными струями (сосредоточенная), при которой обслуживаемая зона омывается обратным потоком (рис. 1, схема В);
- вертикально вниз (рис. 1, схема Г);
- в рабочую зону (рис. 1, схема Е).

Решение проблем раздачи тёплого воздуха активно занимается завод «Арктос». И с помощью его разработок в области воздухораспределения и теплового оборудования можно реализовать все четыре схемы.

Рассмотрим особенности расчёта каждой из упомянутых схем и способы их реализации с помощью оборудования компании «Арктос».

Схема Б

Для обеспечения наиболее равномерного распределения скоростей и температур при раздаче тёплого воздуха по схеме Б ось струи должна пересекать верхний уровень обслуживаемой зоны на расстоянии x_b с координатами по длине — x_b , по высоте — z_b

$$\begin{aligned}x_b &= 0,63 \times H^{\text{хол}}, \\z_b &= 0,3 \times H^{\text{хол}}, \\a_1 &= 0,58 \times H^{\text{хол}},\end{aligned}$$

где:

H — геометрическая характеристика

$$H^{\text{хол}} = 5,45 \times \frac{m \times V_0 \times \sqrt[4]{F_0}}{\sqrt{n \times \Delta t_0}};$$

m , n — скоростной и температурный коэффициенты;

F_0 — расчётное сечение воздухораспределителя;

V_0 — скорость воздуха в расчётном сечении;

Δt_0 — избыточная температура приточного воздуха;

$\Delta z_b = h_0 - z_b - h_{0,3} = 1\text{ м}$ — высота опуска вершины оси струи над уровнем рабочей зоны;

a_1 — длина модуля помещения, обслуживаемого одним воздухораспределителем.

При подаче воздуха сверху вниз наклонными струями максимально допустимая избыточная температура подаваемого тёплого воздуха Δt_0^{max} рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_0^{\text{max}} = \frac{11,8 \times \sqrt{F_0} \times (m \times V_0)^2 \times \sin^2 \beta}{(h_0 - h_{0,3})^2 \times n},$$

где β — угол, под которым струя воздуха входит в рабочую зону, $\beta = 0,67 \times \alpha$;

α — угол наклона жалюзи решеток, град.

Полученное значение сопоставляется с заданным по условиям тепловоздушного баланса для холодного периода года рассматриваемого объекта.

Если рассчитанная величина Δt_0^{max} соответствует требуемому значению для компенсации недостатков тепла в холодный период года, то проверяются параметры V_x^{max} , Δt_x^{max} в обслуживаемой зоне с учётом коэффициента неизотермичности — $K_H^{\text{хол}}$ по следующим формулам:

$$V_x^{\text{max}} = \frac{m \times V_0 \times \sqrt{F_0}}{x} \times K_H^{\text{хол}};$$

$$\Delta t_x^{\text{max}} = \frac{n \times \Delta t_0 \times \sqrt{F_0}}{x} \times \frac{1}{K_H^{\text{хол}}};$$

где:

$$K_H^{\text{хол}} = \cos \beta \times \sqrt{\cos^2 \beta + \left[\sin \beta - \left(\frac{x_b}{H^{\text{хол}} \times \cos \beta} \right)^2 \right]^2}.$$

Полученные V_x^{max} , Δt_x^{max} должны быть не более нормируемых согласно заданию.

Если Δt_0^{max} , полученное расчётом, меньше Δt_0 , заданного по балансу, то возможно несколько вариантов решения этой проблемы:

1-й вариант. Недостающее тепло внести в рабочую зону, например, электрическими тепловентиляторами типа ТЭВ, производимых на заводе «Арктос» мощностью от 2 кВт до 15 кВт.

Более мощное отопительное оборудование от 10 кВт до 50 кВт фирма «Арктос» предлагает на основе водяных тепловентиляторов типа ТВВ. Такое оборудование рекомендуется для обогрева цехов и мастерских, вестибюлей, складов, закрытых спортивных арен, супермаркетов и т.д. Основные технические характеристики ТЭВ и ТВВ можно получить на сайте www.arktos.ru.

2-й вариант. Например, применить для раздачи тёплого воздуха регулируемые решётки АМН или АДН фирмы «Арктос», увеличить угол наклона жалюзи в направлении к рабочей зоне с $\alpha^{\text{min}} = 0^\circ$ (для тёплого периода) до $\alpha^{\text{max}} = 50^\circ$ (для холодного периода), что соответствует оптимальному развитию струи с максимальной дальностью. Для этого положения жалюзи рассчитывается значение Δt_0^{max} и вновь сопоставляется с требуемым в холодный период года для воздушного отопления.

Более подробные рекомендации по применению воздухораспределителей компании «Арктос» можно получить в «Указаниях по ВР», издание третье, Санкт-Петербург, 2005 года [6].

3-й вариант. При проектировании системы воздушного отопления необходимо предусмотреть возможность отключения части воздухоподающих решёток с тем, чтобы на оставшиеся воздухораспределители увеличился расход и соответствующая скорость на истечении.

Для новых условий следует пересчитать Δt_0^{max} и если полученное значение больше заданного, то определяется угол наклона жалюзи α и соответствующие значения m , n , H , K_H по [6]. Затем традиционно вычисляются параметры воздуха при входе струи в обслуживаемую зону V_x^{max} , Δt_x^{max} для холодного периода года, и полученные значения сопоставляются с нормируемыми. Если новые значения удовлетворяют заданным, то расчёт считается законченным.

Схема В

При подаче воздуха горизонтальными струями рабочая зона обогревается обратным потоком, обслуживающим значительную площадь помещения. Течение потока вдоль помещения в этом случае иногда приводит к ощутимому различию между максимальной и минимальной температурой воздуха в зоне пребывания человека. Разность между этими температурами возрастает с уменьшением воздухообмена и с увеличением перепада температур между подаваемым и удаляемым воздухом. Средняя температура в рабочей зоне может оказаться ниже принятой по расчёту, равной ей, а также несколько превышать её. Поэтому при сосредоточенной подаче воздуха горизонтальными струями определяется максимальная (допустимая) избыточная температура подаваемого тёплого воздуха по формуле:

$$\Delta t_0^{\max} = 1300 \times \frac{V_0^2 \times \sqrt{F_0}}{m \times n \times (b \times h_n)}$$

Максимальная скорость и избыточная температура в обслуживаемой зоне, омываемой обратным потоком, определяются по следующим соотношениям:

$$V_{\text{обп}}^{\max} = 0,73 \times V_0 \times \sqrt{\frac{F_0}{b \times h_n}};$$

$$\Delta t_{\text{обп}}^{\max} = 1,4 \times \Delta t_0 \times \sqrt{\frac{F_0}{b \times h_n}}$$

Минимально допустимая высота установки воздухо-распределителя над уровнем пола составляет:

$$h_0 = h_{0,3} + 0,3 \times \sqrt{b \times h_n},$$

где h_n — высота помещения, м;
 b — ширина зоны обслуживания.

Полученные значения $V_{\text{обп}}^{\max}$, $\Delta t_{\text{обп}}^{\max}$ сопоставляются с нормируемыми.

В качестве рекомендуемых воздухоподдающих устройств можно использовать для этого следующие изделия компании «Арктос»:

- настенные решётки с подвижными жалюзи АМН, АДН и неподвижными — АЛН;
- диффузоры пластиковые универсальные круглые ДПУ-К, ДПУ-С;
- панельные воздухораспределители с турбулизирующими ячейками 1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ и закручивателями 1ВПЗ.

Подробные рекомендации по расчёту и подбору указанных воздухораспределителей даны в материалах компании «Арктос» [6].

Схема Г

При вертикальной подаче воздуха (схема Г) распределение температур в рабочей зоне принято считать наиболее благоприятным. Важным фактором при этом является расчёт струи с целью обеспечения требуемой дальности струи. При определении дальности струи в расчётную зависимость для определения параметров на оси струи вводится коэффициент неизотермичности (K_n), учитывающий состояние инерционных и гравитационных сил. За расчётную темпера-

туру в рабочей зоне принимается температура на изотермической оси. Рекомендуется определять максимальную избыточную температуру приточного воздуха, при которой всплытие тёплого воздуха не существенно, по формуле:

$$\Delta t_0^{\max} = \frac{9,7 \times \sqrt{F_0} \times (m \times V_0)^2}{(h_0 - h_{0,3})^2 \times n}$$

Полученное значение сопоставляется с требуемым $\Delta t_0^{\text{доп}}$ из тепловоздушного баланса для холодного периода.

Если $\Delta t_0^{\text{доп}} \leq \Delta t_0^{\max}$, то определяется геометрическая характеристика $H_{\text{хол}}$ по номограмме или формуле:

$$H_{\text{хол}} = \frac{5,45 \times m \times V_0 \times \sqrt[4]{F_0}}{\sqrt{n \times \Delta t_0}}$$

Рассчитывается значение $H^{\text{хол}} / \sqrt{F_0}$. Если $H^{\text{хол}} / \sqrt{F_0} \geq 14,7$, то рассчитывается коэффициент неизотермичности по формуле:

$$K_n^{\text{хол}} = \sqrt[3]{1 - 3 \times \left(\frac{x}{H^{\text{хол}}} \right)^2},$$

и определяются параметры воздуха в струе в холодный период года:

$$V_x^{\max} = \frac{m \times V_0 \times \sqrt{F_0}}{x} \times K_n^{\text{хол}},$$

$$\Delta t_x^{\max} = \frac{n \times \Delta t_0 \times \sqrt{F_0}}{x} \times \frac{1}{K_n^{\text{хол}}},$$

полученные значения сопоставляются с нормируемыми.

Если значение $H^{\text{хол}} / \sqrt{F_0} < 14,7$, то по графику на рисунке 2 определяется относительная дальность нагретой струи $H^{\text{хол}} / \sqrt{F_0}$, вычисляется x и сравнивается с величиной $h_0 - h_{0,3}$, принятой в расчете.

Если $x \geq h_0 - h_{0,3}$, то по графику на рисунке 3 определяется коэффициент неизотермичности $K_{n,\text{хол}}$, рассчитываются параметры воздуха в струе в холодный период года и сопоставляются с нормируемыми.

Если $x < h_0 - h_{0,3}$, то следует уменьшить $\Delta t_0^{\text{доп}}$ и повторить расчет, а недостающее тепло вносить в помещение другим способом, например, электрическими или водяными тепловентиляторами, как это было описано в схеме «Б».

Для задачи тёплого воздуха сверху вниз по схеме Г рационально использовать следующие воздухораспределители компании «Арктос»:

- приточные щелевые решётки АРС, АЛС длиной от 500 до 2000 мм;
- потолочные диффузоры пластиковые круглые ДПУ-М, ДПУ-К, ДПУ-С ($\varnothing 100$, $\varnothing 125$, $\varnothing 160$, $\varnothing 200$, $\varnothing 250$);
- панельные воздухораспределители ВПМ, ВПТ, ВКТ или ВПЗ.

Подробная информация о конструктивных параметрах упомянутых воздухораспределителей, их аэродинамических, акустических характеристиках, а также методах подбора указана в [6].

При наличии технической возможности, как вариант, рекомендуется отключить часть воздухораспределителей, подающих воздух в помещение, увеличив тем самым расход и скорость выхода воздуха через ВР, и пересчи-

тать значение Δt_0^{\max} . Если полученное значение $\Delta t_0^{\max} \geq \Delta t_0^{\text{хол}}$, то рассчитываются новые значения H_x и K_n^x при новых значениях V_0 и $\Delta t_0^{\text{хол}}$ по описанной выше схеме, и параметры воздуха в приточной струе: V_x^{\max} , Δt_x^{\max} и сопоставляются с нормируемыми.

Схема Е

Вначале выполняется расчет воздухораспределения для теплого периода года при максимальном воздухообмене или постоянном круглогодично (расчет на ассимиляцию вредных веществ или компенсацию местных отсосов).

По полученным параметрам V_0 , F_0 , h_0 и принятым характеристикам воздухораспределителя m и n для теплого периода определяется максимально допустимая избыточная Δt_0^{\max} температура в режиме воздушного отопления по формуле:

$$\Delta t_0^{\max} = \frac{9,7 \times \sqrt{F_0} \times (m \times V_0)^2}{x^2 \times n}$$

Полученное значение сопоставляется с требуемым $\Delta t_0^{\text{хол}}$ из тепловоздушного баланса для холодного периода. Если $\Delta t_0^{\max} \leq \Delta t_0^{\text{хол}}$, то расчет считается законченным. Если $\Delta t_0^{\max} > \Delta t_0^{\text{хол}}$, то возможны четыре варианта решения.

1-й вариант. Например, при установке панельных воздухораспределителей ВПМ фирмы «Арктос» за счёт изменения положения подвижной веерной вставки с $b=6$ (8) мм в теплый период на $b=12$ (16) мм для холодного периода находятся новые значения коэффициентов $m=1,3$ и $n=1,1$ по таблице аэродинамических характеристик для схемы Е [6]. Указанное изменение положения подвижной вставки позволит увеличить значение Δt_0^{\max} в 2,5 раза. Если новое значение удовлетворяет заданному, то расчет считается законченным.

2-й вариант. Применение панельных воздухораспределителей фирмы «Арктос» 1ВПТ, 1ВКТ, 2ВКТ с турбулизирующими ячейками позволяет увеличить значение Δt_0^{\max} в 1,7 раза при изменении схемы установки ячеек:

- для тёплого периода применять по схеме закрытого потока ($m=0,4$; $n=0,3$);
- для холодного периода (воздушное отопление) изменить установку на схему комбинированного потока ($m=0,8$; $n=0,7$).

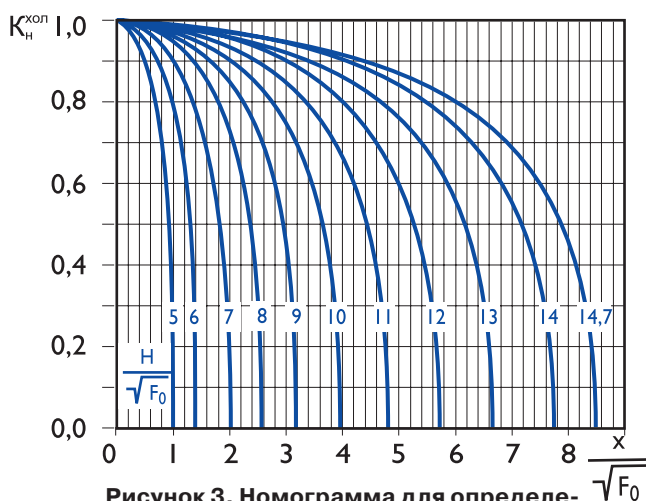


Рисунок 3. Номограмма для определения коэффициента неизотермичности $K_{\text{хол}}$ при $H/\sqrt{F_0} < 14,7$

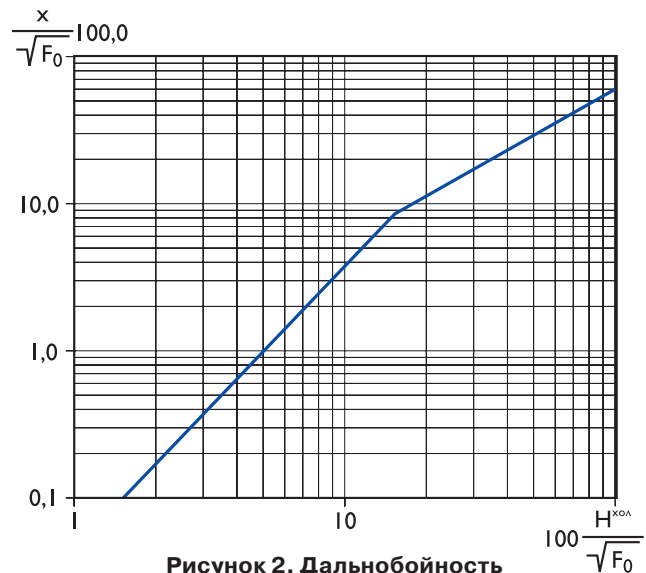


Рисунок 2. Дальность вертикальных нагретых струй

Если новое значение удовлетворяет заданному, то расчет считается законченным.

3-й вариант. Принимается для режима воздушного отопления $\Delta t_0^{\max} = \Delta t_0^{\text{хол}}$, а недостающее тепло компенсируется с помощью тепловентиляторов. Если новое значение удовлетворяет заданному, то расчет считается законченным.

4-й вариант. При наличии технической возможности рекомендуется отключить часть воздухораспределителей, подающих воздух в помещение, увеличив тем самым расход и скорость выхода воздуха через воздухораспределитель, и пересчитать значение Δt_0^{\max} . Если полученное значение $\Delta t_0^{\max} \geq \Delta t_0^{\text{хол}}$, то рассчитываются параметры воздуха в приточной струе на расстоянии 1 м от воздухораспределителя: V_x^{\max} при новом значении V_0 и Δt_0^{\max} при $\Delta t_0^{\text{хол}}$ и сопоставляются с нормируемыми. Если новое значение удовлетворяет заданному, то расчет считается законченным.

Литература:

1. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. – АВОК Северо-Запад – СПб, 2004
2. Решётки вентиляционные регулируемые типа РВ. Типовая документация на конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений (серия 5.904 – 50). – М, 1988
3. Рекомендации по расчёту воздухообмена в помещениях, оборудованных системами вентиляции, совмещёнными с воздушным отоплением при использовании воздухораспределителей ВГК. – ЦНИИ Промзданий – М, 1980
4. Рекомендации по выбору отопительно-рециркуляционных агрегатов АЗ-840. – Госстрой СССР – М, 1981
5. Кузьмина Л.В., Гуськов А.С., Середнёва Н.С. Расчёт воздушного отопления компактными вентиляционными струями.
6. Воздухораспределители компании «Арктос», указания по расчёту и практическому применению. Издание третье – СПб, 2005.