

Совместная работа дестратификаторов воздуха и отопительно-вентиляционных систем промышленных зданий

Проектирование систем отопления и вентиляции необходимо рассматривать как единый комплекс. Имеется много данных о проектировании этих систем в общественных зданиях, но мало сведений об их применении для промышленных зданий. Рассмотрим работу систем дестратификации воздуха, вентиляции и отопления как единого комплекса; проведем анализ влияния этих систем на аэродинамические и теплотехнические процессы, имеющие место в отапливаемых помещениях. Также рассмотрим вопрос энергосбережения при работе систем, обеспечивающих микроклимат — в статье показан способ работы систем дестратификации воздуха по принципу понижения уровня «виртуального потолка»; перечислены основные этапы проектирования; произведен технико-экономический расчет с целью определения окупаемости данных систем.

Автор Александр КОТЕНКО, Душан ПЕТРАШ (экс-президент REHVA), Словацкий технологический университет в Братиславе (строительный факультет)

Введение

Вопросы рационального использования тепловой энергии для отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха особенно актуальны в условиях постоянного роста стоимости топлива. До 40% от общего расхода энергии потребляется в зданиях. Этот показатель является самым большим среди потребителей энергии. Очевидно, что здания больших объемов являются основными потребителями энергии и наиболее привлекательными с точки зрения ее экономии.

Характерными представителями такого вида зданий являются промышленные объекты, которые характеризуются большим соотношением между площадью пола и высотой помещений. Наряду с устройством систем отопления и вентиляции, в них целесообразна дестратификация воздуха.

Дестратификация воздуха как составная часть систем отопления и вентиляции

Одним из эффективных способов повышения энергосбережения в зданиях — усовершенствования работы систем ОВК как единого комплекса, обеспечивающего равномерный тепловой и воздушный режим зданий, и поддерживающего условия комфортности. Для промышленных зданий данный комплекс представляет собой совокупность трех систем:

- отопления;
- вентиляции;
- дестратификации.

Поддержание теплового режима обеспечивается работой системы отопления путем компенсации потерь тепловой энергии. Теплотери рассчитываются как сумма теплового потока через ограждающий конструкции и теплопотерь на нагрев вентиляционного воздуха:

$$Q = Q_A + Q_B, \text{ Вт.} \quad (1)$$

Тепловой поток через ограждающие конструкции рассчитывается для каждого элемента по формуле:

$$Q_A = FK(t_{\text{н}} - t_{\text{в}})\alpha, \text{ Вт,} \quad (2)$$

где F — расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ; K — коэффициент теплопередачи ограждающей кон-

струкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{\text{н}}$ — температура данной ограждающей конструкции, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{в}}$ — расчетная отопительная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; α — дополнительные теплотери (на положение конструкции, на учет ветра и т.д.), принимаемые в долях от основных.

Потери тепловой энергии на нагрев инфильтруемого воздуха определяются по формуле:

$$\frac{c\rho V(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{3600 h}, \quad (3)$$

где ρ — плотность воздуха внутри помещения, $\text{кг}/\text{м}^3$; c — массовая теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; V — объем помещения, м^3 ; h^{-1} — кратность воздухообмена в помещении, ч^{-1} .

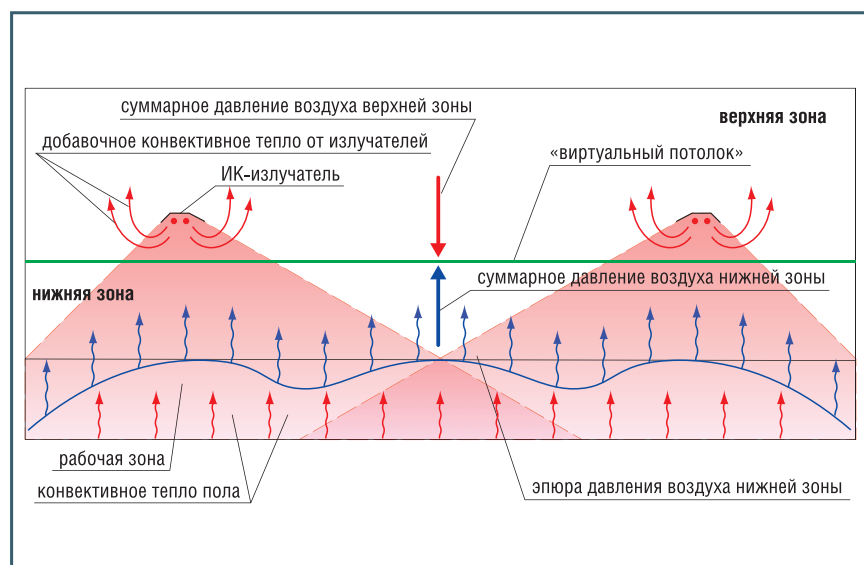


Рис. 1 К определению принципа схемы дестратификации отопления ИК-излучателями

Поддержание воздушного режима помещения обеспечивается работой системы вентиляции, что описывается следующим уравнением:

$$\sum_{i=1}^n G_{n_i} - \sum_{j=1}^n G_{b_j} = 0, \quad (4)$$

где G_{n_i} — расход приточного воздуха, кг/ч; G_{b_j} — расход вытяжного воздуха, кг/ч.

Последняя в этом списке, система дестратификации воздуха, не является самостоятельной системой, а представляет собой составную и связующую часть систем отопления и вентиляции, которая обеспечивает работы данных систем микроклимата как единого комплекса.

Дестратификаторы обеспечивают уменьшение расходов тепловой энергии, а следовательно и топлива, за счет перемещения более нагретого воздуха из-под потолка в рабочую зону.

Дестратификаторы являются устройствами, которые помогают улучшить циркуляцию внутреннего воздуха, а следовательно снижают концентрацию вредных веществ в помещении.

При помощи работы систем дестратификации воздуха могут быть достигнуты два условия комфортности:

Первое условие комфортности температурной обстановки устанавливает зону сочетаний t_b и t_R , при которых человек, находясь в середине обслуживаемой зоны, не испытывает чувства перегрева или переохлаждения, что описывается зависимостью:

$$t_R \geq 1,57t_b - 0,57t_n \pm 1,5, \quad (5)$$

где t_R — температура поверхностей ограждающих конструкций, °C; t_n — температура «помещения», °C.

Второе условие комфортности температурной обстановки определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека на границах обслуживаемой зоны помещения, т.е. в непосредственной близости от этих поверхностей, что описывается зависимостью:

$$3 - \frac{5}{\varphi} \leq t_{доп} \leq 19,2 + \frac{8,7}{\varphi}, \quad (6)$$

где φ — коэффициент облученности от поверхности элементарной площадки на голове человека в сторону нагретой либо охлажденной поверхности; $t_{доп}$ — допустимая температура нагрева потолка и стен, °C.

Традиционный способ работы дестратификации заключается в уменьшении разности температур воздуха, находящегося под потолком и в рабочей зоне. По данному принципу имеется много исследований — определена область применения дестратификаторов, предусматриваемая их мощность, минимальное время, необходимое для дестратификации заданного объема воздуха, расчеты по определению экономии топлива.

Зачастую при проектировании дестратификаторов не учитывается тот фактор, что их работа оправдывает себя при разности температур воздуха под потолком и в рабочей зоне более 7°C.

Большое распространение среди систем отопления помещений больших объемов получили системы, которые оборудованы инфракрасными излучателями (ИК-излучателями). Они являются самыми эффективными среди систем отопления производственных помещений.

При данном виде отопления вышеуказанная разность температур колеблется в пределах 3–5°C, что не позволяет эффективно применять системы дестратификации воздуха, работающие по традиционному способу.

Физико-технические условия, определяющие принцип работы дестратификации воздуха. Понятие «виртуального потолка».

Вопрос совместной работы систем отопления на основе ИК-излучателей и дестратификаторов освещен в ряде публикаций, которые называют данный способ отопления одним из наиболее эффективных с экономической,

экологической и энергетической точек зрения. Однако почти нигде не сказано о проблематике невозможности применения принципов обычной дестратификации по отношению к системам отопления на основе ИК-излучателей.

Этот вопрос является базовым при оценке эффективности тех или иных систем. Традиционная организация работы дестратификации может в лучшем случае свести эффективность к минимуму, в худшем — быть убыточной.

При организации дестратификации в случае инфракрасного отопления необходимо учитывать следующие физико-технические особенности (рис. 1):

□ радиационные лучи нагревают лишь поверхности пола, стен и предметов, находящихся в поле их «видимости» — воздух внутри помещения является для них «прозрачным»;

□ нагрев воздушной среды осуществляется конвективно-кондуктивным путем;

□ с точки зрения аэродинамики и теплопередачи отапливаемое помещение по высоте условно делится на две зоны — ниже и выше уровня подвески излучателей. Это происходит в связи с тем, что воздух верхней зоны получает добавочную конвективную тепловую энергию от ИК-излучателей, что повышает его суммарное давление по сравнению с давлением воздуха нижней зоны. Тем самым на некоторой высоте устанавливается равновесие по давлению воздуха верхней и нижней зон. На данной высоте образуется мнимая плоскость, называемая «виртуальным потолком»;

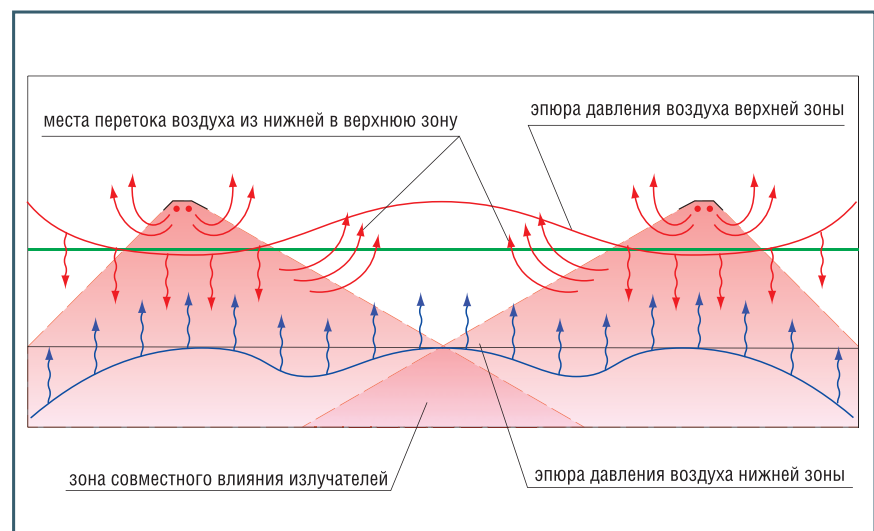


Рис. 2. Аэродинамический режим помещений, отапливаемых при помощи ИК-излучателей

□ предложенный А.И. Шепелевым метод расчета аэрации зданий использовал понятия стратификации воздуха, «температурного перекрытия» и «тепловой подушки». Это явилось также прообразом физической модели, заложенной в системы вытесняющей вентиляции (displacement ventilation);

□ влияние ИК-излучателей, которые размещаются таким образом, чтобы обеспечить требуемую облученность в верхней части рабочей зоны. Это связано с обеспечением требуемой температуры воздуха внутри помещения, находящегося в рабочей зоне. Следовательно, по площади пола имеют места зоны совместного влияния излучателей. Это показано на графике давлений воздуха (рис. 1). Таким образом, помимо максимумов давлений воздуха непосредственно под ИК-излучателями данная эпюра имеет максимум, который располагается в центре данной зоны совместного влияния.

Вышеперечисленные особенности определяют основной принцип работы дестратификаторов воздуха при использовании в качестве нагревательных приборов ИК-излучателей — понижение уровня «виртуального потолка», что приводит к уменьшению объема отапливаемого помещения. Следует сказать, что уменьшение высоты расположения «виртуального потолка» не приводит к пропорциональному уменьшению объема. Это связано с тем, что в реальности в зоне «виртуального потолка» существуют неустойчивые зоны, через которые происходит тепло- и воздухообмен. При уменьшении высоты расположения «виртуального потолка» на 15% отапливаемый объем уменьшается на 11%. Обеспечение пропорционального изменения объема в зависимости от высоты возможно при равномерном распределении давления воздуха, создаваемого системой дестратификации.

Организация работы дестратификаторов понижением уровня «виртуального потолка». Определение мест их размещения

На процент уменьшения тепловой нагрузки отапливаемого помещения влияют и его геометрические размеры, и высота расположения отопительного оборудования, и величина теплопотерь, но определяющим фактором является высота расположения «виртуального потолка».

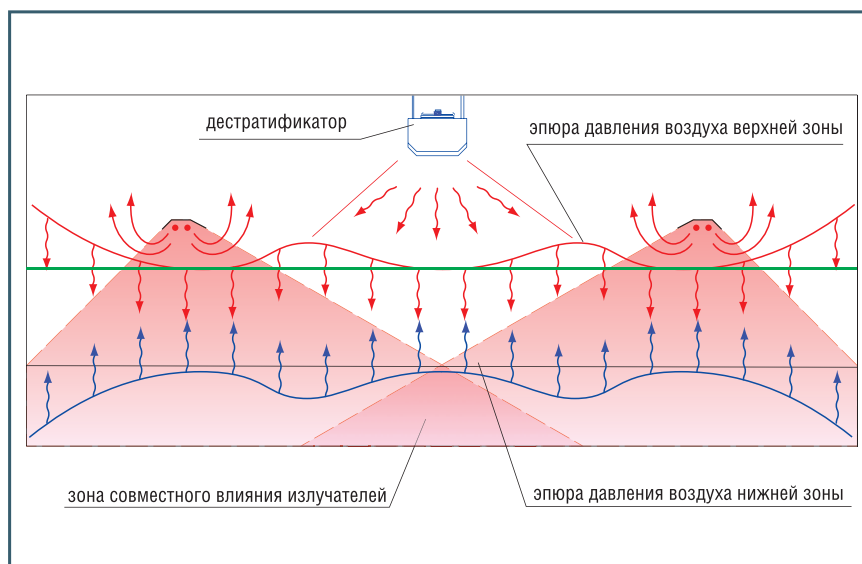


Рис. 3. К организации принципа работы и определению мест расположения дестратификаторов

Это означает, что дестратификаторы воздуха должны обеспечивать некое добавочное давление, изменяя которое, возможно регулировать отапливаемый объем. Причем для обеспечения горизонтальности положения плоскости «виртуального потолка» эпюра давления воздуха верхней зоны должна соответствовать эпюре воздуха нижней зоны, т.е. положение максимумов должно совпадать, а их значения — должны быть различны по знаку и равны по величине. Для этого необходимо обеспечить условия, представленные на эпюре (рис. 2).

Эпюра давления воздуха нижней зоны представляет собой график, имеющий максимумы непосредственно под местами подвески ИК-излучателей и посередине зоны совместного влияния. Построение данного графика осуществляется на основании расчетов распределения облученности поверхности пола. Очевидно, что конфигурация графика облученности и давления совпадают.

Относительно верхней зоны: здесь наблюдаются максимальные значения давления непосредственно под ИК-излучателями. Однако в промежутке между ними на графике давлений вместо максимума будет иметь место минимум.

Вследствие этого на данном участке возможно образование мест перетока воздуха из нижней зоны в верхнюю (рис. 2). Наличие данных мест зависит от расстояния между подвесками излучателей, геометрических характеристик помещения, тепловой нагрузки си-

стемы отопления, а также кратности воздухообмена в помещении. Характер движения воздуха в этом районе является крайне неустойчивым, что может оказать негативное влияние на образование «виртуального потолка».

Таким образом, применение дестратификаторов воздуха должно обеспечить устойчивость воздушного режима в области «виртуального потолка» и регулировку отапливаемого объема (рис. 3). Проектирование должно осуществляться в три этапа:

- определение мест расположения дестратификаторов. Они должны быть установлены над зоной совместного облучения ИК-излучателей, т.е. посередине между местами их подвесок (рис. 4).
- определение высоты расположения плоскости «виртуального потолка». Эта величина зависит от тепловой мощности системы отопления, высоты помещения, тепловых процессов, которые имеют в нем место. Ее расчет осуществляется при помощи компьютерного моделирования, на основе расчета облученности пола, эпюр давлений восходящих конвективных потоков, а также конвективных потоков от ИК-излучателей. Обычно «виртуальный потолок» располагается несколько ниже уровня их подвески.
- расчет производительности дестратификаторов воздуха. Задачей этого этапа является подбор необходимых типоразмеров дестратификаторов, расчет пределов регулирования высоты «виртуального потолка» в зависимости от изменения тепловой нагрузки.

Названные три этапа проектирования не дают исчерпывающей информации по проектированию дестратификации воздуха. Однако они являются основой для понимания физической модели, заложенной в принцип их работы. Ведь теплотехнические и аэродинамические процессы, имеющие место в отапливаемом радиационным способом помещении, являются крайне неустойчивыми. В каждом отдельном случае проектировщику необходимо четко представлять и понимать требования, предъявляемые к совместной работе систем микроклимата. Для этого в настоящее время разрабатываются методические указания по проектированию данных систем, в которых помимо рекомендаций будут представлены примеры объектов, оснащенных

дестратификаторами, с указанием их особенностей, а также возможных ошибок.

Расчет сроков окупаемости установки дестратификаторов

Область применения любых систем обеспечения микроклимата, в т.ч. дестратификации воздуха, определяется сроком окупаемости.

В нашем случае расчет был произведен на основании анализа проектной документации одной словацкой фирмы, занимающейся проектированием комплексных систем микроклимата производственных помещений. Результатам обработки информации по объектам, на которых установлены дестратификаторы и ИК-излучатели, приведены в табл. 1. В ней приведена

часть объектов и даны лишь основные характеристики.

Как видно по табл. 1, среднее значение окупаемости равняется 3,1 отопительных сезона, что приемлемо для помещений с объемами от 5000 до 50 тыс. м³.

Выводы

1. Проектирование систем микроклимата производственных зданий должно осуществляться по принципу их комплексной работы — это позволит наиболее эффективно обеспечивать требуемые параметры микроклимата и использовать тепловую энергию.

2. Работа дестратификаторов воздуха при инфракрасном отоплении должна осуществляться по принципу понижения уровня «виртуального потолка».

3. При проектировании должны быть соблюдены три условия:

- определены места расположения дестратификаторов;
- определена высота расположения «виртуального потолка»;
- определена производительность дестратификаторов воздуха.

3. Для определения целесообразности установки дестратификаторов необходимо произвести расчет сроков окупаемости.

4. Средняя величина окупаемости систем, обеспечивающих микроклимат, с дестратификацией воздуха должен быть не более 3,1 отопительных сезона. □



Рис. 4. Пример монтажа систем микроклимата на основе ИК-излучателей и дестратификаторов

■ Расчет окупаемости систем дестратификации воздуха, работающих совместно с системами отопления ИК-излучателей

табл. 1

Объект	Объем отапливаемого помещения, м ³	Закладываемая мощность системы отопления, кВт	Кол-во ИК-излучателей, пэ, шт.	Кол-во дестратификаторов, пд, шт.	Срок окупаемости, отопит. сезон
SASHS Trnava					
Зал НКВ	24192	792	36	6	39175
Новый зал	48017	858	39	6	39235
Поперечный неф	11318	198	9	1	39175
Zelba a.s.					
Зал Centralne Dielne	5108	176	8	2	39175
Global					
Зал 1	6300	176	8	1	39175
Fermas					
RS 800	9324	110	5	1	39175
RS 700	6993	88	4	1	39175
Hoffmann					
Demont	55296	390	12	2	39204
Dielna 2	38563	1102	48	12	39265
Dielna 3	34113	993,6	46	9	39265

1. Маркин В., Шабakov И., Иголин Б. «Отопление промышленных объектов: уходим от стереотипов», Москва — «Аква-Терм», №2(18)/2004.
2. Молька В. «Три «Э» в отоплении промышленных объектов». Словакия, 2005.
3. «HVAC Systems. Use destratification fans to improve air circulation». Center for Energy Efficiency and Renewable Energy.
4. Mostra for the European Commission «Directorate General for Energy and Transport © European Communities», 2005.
5. Техническая документация фирмы Adrian (Словакия), 1999–2005.