

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений
(теплогасоснабжение с основами теплотехники)»

Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Направленность (профиль) «Строительство зданий и сооружений»

Пятигорск 2020

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (теплогасоснабжение с основами теплотехники)»
Рассмотрены и утверждены на заседании кафедрой «Строительство» (протокол №___ от
«___» _____ 2020г.)

Зав. кафедрой «Строительство» _____ Щитов Д.В.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа №2 Измерение скорости движения воздуха в проемах ограждений, дверей, в воздуховодах.....	8
Лабораторная работа №3 Определение относительной влажности воздуха	11
Лабораторная работа №4 Определение коэффициента теплоотдачи радиатора водяного отопления.....	14
Лабораторная работа №5 Определение коэффициента затекания и теплоотдачи отопительного прибора.	17
Лабораторная работа №6 Технические испытания системы вентиляции.....	20
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	37

Введение

Дисциплина «Инженерные системы зданий и сооружений (теплогазоснабжение с основами теплотехники)» имеет существенное значение для профессиональной подготовки специалистов в области промышленного и гражданского строительства. Дисциплина является промежуточным и наиболее сложным этапом в процессе обучения.

Задачами изучения дисциплины являются:

- рассмотрение основ технической термодинамики и теплопередачи,
- изучение влажностного и воздушного режимов зданий;
- освоение принципов проектирования и реконструкции систем обеспечения микроклимата помещений;
- возможность использования нетрадиционных источников энергоресурсов,
- задачи охраны окружающей среды

Целями освоения дисциплины являются:

- освоение студентами смежной отрасли строительной техники, выработке навыков творческого использования знаний при выборе и эксплуатации оборудования теплогазоснабжения и вентиляции, применяемого в строительной индустрии.

Знания, полученные при изучении данной дисциплины необходимы для написания выпускной квалификационной работы.

Лабораторная работа №1 Измерение поверхностей охлаждения ограждающих конструкций с целью определения основных теплопотерь помещения

Цель: изучить требования, предъявляемые к измерению поверхностей охлаждения ограждающих конструкций с целью определения основных теплопотерь помещения

Знать: требования, предъявляемые к измерению поверхностей охлаждения ограждающих конструкций с целью определения основных теплопотерь помещения

Уметь: работать с инновационными приборами, используемыми для измерения параметров воздушно-теплого режима в помещениях и характеристики систем и инновационного оборудования в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Формируемые компетенции: ОПК-3, ОПК-4

Актуальность темы: посвящена изучению определения теплопотери отдельными помещениями и зданием в целом

Теоретическая часть: Для определения теплопотери отдельными помещениями и зданием в целом необходимо иметь следующие исходные данные: планы этажей и характерные разрезы по зданию со всеми строительными размерами; выкопировку из генерального плана с обозначением стран света и розы ветров; назначение каждого помещения; место постройки здания (название населенного пункта); конструкции всех наружных ограждений, обоснованные теплотехническим расчетом.

Все отапливаемые помещения здания на планах следует обозначать порядковыми номерами (начиная с №01 и далее — помещения подвала; с № 101 и далее — помещения первого этажа; с № 201 и далее — второго этажа и т. д.). Помещения нумеруют слева направо, причем лестничные клетки обозначают отдельно буквами или римскими цифрами и независимо от этажности здания рассматривают как одно помещение.

Потери теплоты помещениями через ограждающие конструкции, учитываемые при проектировании систем отопления, разделяются условно на основные и добавочные. Их следует определять, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции с округлением до 10 Вт, по формуле:

$$Q_{оп} = \frac{F}{R_0} (t_B - t_H^B) (1 + \sum \beta) n = kF(t_B - t_H^B) (1 + \sum \beta) n \quad (1.1)$$

где F - расчетная площадь ограждающей конструкции, m^2 ;
 k - коэффициент теплопередачи данной ограждающей конструкции, $Вт/(m^2K)$;
 R_0 - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(m^2-K)/Вт$;
 t_B - расчетная температура воздуха, $^{\circ}C$, помещения с учетом повышения по высоте для помещений высотой более 4м;

t_H^B - расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете потерь теплоты через наружные ограждения или температура воздуха более холодного помещения при расчете потерь теплоты через внутренние ограждения;

n - коэффициент учитывающий положение наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

β - добавочные потери теплоты в долях от основных потерь.

Таким образом, чтобы определить потери теплоты помещения, необходимо знать величины F , k (либо R_0), t_B , t_H^B , n и β . Коэффициент теплопередачи k (либо R_0) ограждающей конструкции определяют теплотехническим расчетом.

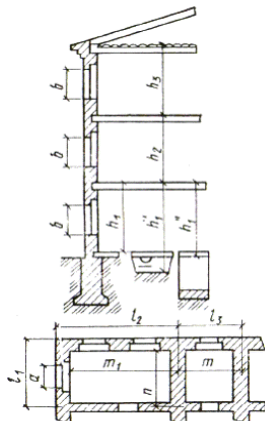


Рис. 1. Смеха обмера теплопередающих ограждений

Теплообмен через ограждения между смежными отапливаемыми помещениями при расчете теплотерь учитывается, если разность температур воздуха этих помещений более 3°C . Площади F , m^2 , отдельных ограждений — наружных стен (НС), окон (О), дверей (Д), фонарей (Ф), потолка (Пт), пола (П) — измеряются по планам и разрезам здания следующим образом, (рис.1).

1. Высота стен первого этажа, если пол находится непосредственно на грунте, — между уровнями полов первого и второго этажей (h_1), если пол на лагах — от наружного уровня подготовки пола на лагах до уровня пола второго этажа (h'_1), при неотапливаемом подвале или подполье — от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа ($h_{\ll 1}$), а в одноэтажных зданиях с чердачным перекрытием высота измеряется от пола до верха утепляющего слоя перекрытия.

2. Высота стен промежуточного этажа — между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей (h_2), а верхнего этажа — от уровня его чистого пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия (h_3) или бесчердачного покрытия.

3. Длина наружных стен в угловых помещениях — от кромки наружного угла до осей внутренних стен (l_1 и l_2), а в неугловых — между осями внутренних стен (l_3).

4. Длина внутренних стен — по размерам от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен (m_1) или между осями внутренних стен (m).

5. Площади окон, дверей и фонарей — по наименьшим размерам строительных проемов в свету (a и b).

6. Площади потолков и полов над подвалами и подпольями в угловых помещениях — по размерам от внутренней поверхности наружных стен до осей противоположных стен (m_1 и n), а в неугловых — между осями внутренних стен (m) и от внутренней поверхности наружной стены до оси противоположной стены (n).

Для подсчета площадей ограждающих конструкций линейные размеры их принимаются с погрешностью до $\pm 0,1\text{м}$, а величины площадей округляются с погрешностью $\pm 0,1\text{м}^2$. Потери теплоты через полы, расположенные на грунте или на лагах, из-за сложности точного решения задачи определяют на практике упрощенным методом — по зонам-полосам шириной 2м , параллельным наружным стенам (рис. 2).

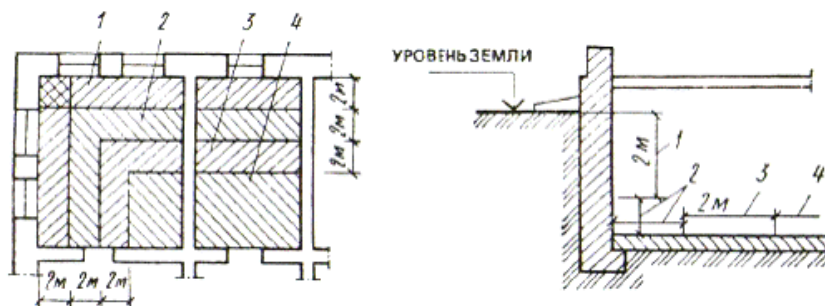


Рис. 2. Схема к определению потерь теплоты через полы и стены, заглубленные ниже уровня земли

1 — первая зона; 2—вторая зона; 3—третья зона; 4 — четвертая зона (последняя)

Основная расчетная формула при подсчете потерь теплоты $Q_{пл}$, Вт, через пол, расположенный на грунте, принимает следующий вид:

$$Q_{пл} = \left(\frac{F_1}{R_{1,н.п}} + \frac{F_2}{R_{2,н.п}} + \frac{F_3}{R_{3,н.п}} + \frac{F_4}{R_{4,н.п}} \right) (t_B - t_H^E) \left(1 + \sum \beta \right)^n \quad (1.2)$$

где F_1, F_2, F_3, F_4 - площади, соответственно 1, 2, 3, 4 зон-полос, м²;
 $R_{1,н.п}, R_{2,н.п}$ - сопротивление теплопередаче отдельных зон пола, м²К/Вт; остальные величины — те же, что в формуле (1.1).

Сопротивление теплопередаче конструкции утепленных полов, расположенных непосредственно на грунте, $R_{уп}$ м²К/Вт, надлежит определять также для каждой зоны, но по формуле:

$$R_{уп} = R_{н.п} + \sum \frac{\delta_{у.с}}{\lambda_{у.с}} \quad (1.3)$$

где $R_{н.п}$ - сопротивление теплопередаче отдельных зон неутепленного пола (см. рис. 2), м²К/Вт;

$\sum \frac{\delta_{у.с}}{\lambda_{у.с}}$ - сумма термических сопротивлений утепляющих слоев, м²К/Вт.

Утепляющими слоями считаются слои из материалов, имеющих теплопроводность $\lambda \leq 1,2$ Вт/(мК).

Сопротивление теплопередаче конструкций полов на лагах $R_{л}$, м²К/Вт, определяется по формуле:

$$R_{л} = \frac{1}{0,85} R_{у.п} = 1,18 R_{у.с} \quad (1.4)$$

где $R_{у.с}$ — сопротивление теплопередаче конструкции утепленного пола, здесь в качестве утепляющих слоев учитывают воздушную прослойку ($B_{вп}=0,2$) и дощатый пол, уложенный по лагам.

При подсчете потерь теплоты через полы, расположенные на грунте или лагах, поверхность участков полов возле угла наружных стен (в первой двухметровой зоне) вводится в расчет дважды, т. е. по направлению обеих стен, составляющих угол.

Теплопотери через подземную часть наружных стен и полы отапливаемого подвала здания должны подсчитываться так же, как и теплопотери через полы, расположенные на грунте бесподвального здания, т. е. по зонам шириной 2м, с отсчетом их от уровня земли (см. рис. 2). Полы помещений в этом случае (при отсчете зон) рассматриваются как продолжение подземной части наружных стен. Сопротивление теплопередаче определяется так же, как и для неутепленных или утепленных полов.

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.
2. К работам по эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных, осветительных, технических средств обучения и электрических машин) допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по охране труда. Не электротехническому персоналу, эксплуатирующему электроустановки до 1000 В, прошедшему инструктаж и проверку знаний по электробезопасности, присваивается I квалификационная группа допуска с оформлением в журнале установленной формы с обязательной росписью проверяющего и проверяемого.
3. Все лица, связанные с работой в лаборатории, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Вопросы для собеседования:

1. Какие данные необходимо знать для определения теплопотери отдельными помещениями и зданием?
2. Как разделяются потери теплоты помещениями через ограждающие конструкции, учитываемые при проектировании систем отопления?
3. Как проводится подсчет потерь теплоты через полы, расположенные на грунте или лагах?
4. Как проводится подсчет теплопотери через подземную часть наружных стен и полы отапливаемого подвала здания

Лабораторная работа №2 Измерение скорости движения воздуха в проемах ограждений, дверей, в воздуховодах.

Цель: изучить требования, предъявляемые к измерению скорости движения воздуха в проемах ограждений, дверей, в воздуховодах.

Знать: требования, предъявляемые к измерению скорости движения воздуха в проемах ограждений, дверей, в воздуховодах.

Уметь: работать с инновационными приборами, используемыми для измерения параметров воздушно-теплого режима в помещениях и характеристики систем и инновационного оборудования в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Формируемые компетенции: ОПК-3, ОПК-4

Актуальность темы: посвящена изучению требований, предъявляемых к измерению скорости движения воздуха в проемах ограждений, дверей, в воздуховодах.

Теоретическая часть: Скорость воздушных потоков, при испытаниях систем воздухораспределения или при оценке санитарно-гигиенического состояния воздушной среды в помещении, измеряют механическими или электронными анемометрами.

Скорость воздуха в воздуховодах, каналах, проемах и т.п. определяют по динамическому давлению в измерительном сечении канала или с помощью анемометров (крыльчатых, чашечных, термоанемометров). Выбор измерительного инструмента определяется требуемым диапазоном измеряемых скоростей характерными размерами измерительного зонда, запыленностью и агрессивностью среды и другими конкретными условиями измерений.

Среднюю скорость движения воздуха V_m по динамическому давлению в измерительном сечении определяют с помощью формулы:

$$V_m = \left(\frac{2}{\rho} * p_d \right)^{0,5} \quad (2.1)$$

где: ρ - плотность воздуха, кг/м^3 , при температуре $t^\circ\text{C}$ в измерительном сечении, определяется с использованием уравнения состояния воздуха по формуле:

$$\rho = \rho_n * \frac{p_a * R_n * (273,3 + t_n)}{p_{ан} * R * (273,3 + t)} = \frac{\rho_n}{K_R} * \frac{p_a * (273,3 + t_n)}{p_{ан} * (273,3 + t)} = \frac{\rho_n}{\Delta} \quad (2.2)$$

где: $\rho_n = 1,205 \text{ кг/м}^3$, $t = 20^\circ\text{C}$, $p_{ан} = 101,3 \text{ кПа}$ – нормальные атмосферные условия для воздуха (плотность, температура, давление);

$K_R = R/R_n$ – отношение газовой постоянной при условиях температуры и относительной влажности эксперимента к газовой постоянной сухого воздуха при температуре 20°C . Для определения K_R в диапазонах температур $0 \dots 50^\circ\text{C}$ и относительных влажностей $0 \dots 100\%$ можно воспользоваться аппроксимирующей формулой:

$$K_R = (0,0000003t^3 - 0,000002t^2 + 0,0002t + 0,0033)\varphi + 1 \quad (2.3)$$

где: t , град.С – температура измерений;

φ , - относительная влажность в долях единицы. Используя данные для воздуха при нормальных атмосферных условиях, можно записать выражение для Δ в виде:

$$\Delta = \frac{K_R * (273,3 + t)}{p_a * 2,892} \quad (2.4)$$

Анемометры следует применять для измерения скоростей воздуха в тех случаях, когда измерение динамических давлений комбинированными приемниками давления представляется невозможным (в проемах внешних ограждений, отверстиях, открытых концах вентиляционных воздуховодов и т.п.).

Рукоятка измерительного зонда анемометра должна быть достаточно тонкой и длинной, чтобы не вносить дополнительного влияния на течение воздуха в измерительном сечении.

В каждой точке измерения скорость следует определять два раза, причем разность между результатами измерений должна быть не более +5%, в противном случае производят дополнительные измерения.

производят в плоскости выхода воздуха (для воздухораспределительных устройств), а при входе в отверстие – внутри канала (для воздухоприемных устройств).

В отверстиях площадью до 1м² скорость воздуха измеряется медленным равномерным движением анемометра по всему сечению отверстия.

При большем размере отверстия, его сечение разбивают на несколько равных площадок и измерения производят в центре каждой из них. Для последующих расчетов в этом случае в качестве средней скорости принимают среднее арифметическое из значений измеренных скоростей.

В тех случаях, когда в одной части проема движение воздуха имеет одно направление, а в другой – противоположное, необходимо до производства измерений определить с помощью анемометра нейтральную линию в проеме, где скорость воздуха равна нулю. После этого следует отдельно измерить скорости воздуха по обе стороны от нейтральной линии.

В отверстиях, закрытых решетками, измерения скорости производят анемометром, снабженным насадком (сделанным из листовой стали, жести и т.п.), который в процессе измерений плотно примыкает к решетке. Насадок должен иметь длину, обеспечивающую сглаживание профилей скорости за решеткой. Если решетка имеет наклон для придания определенного направления движения воздуха, то насадок также надо выполнять с наклоном, соответствующим наклону створок решетки. Анемометр ориентируется в направлении максимальных значений скорости потока.

Расход воздуха L , м³/с, в открытых проемах воздухораздающих и воздухоприемных устройств следует определять по формуле:

$$L = V_m * F \quad (2.5)$$

где: F – площадь открытых проемов воздухоприемных и воздухораздающих устройств с постоянным направлением движения воздуха, м².

Расход воздуха L , м³/с в отверстиях, закрытых решетками, следует определять по формуле:

$$L = V_m * f_{ж} \quad (2.6)$$

где: $f_{ж}$ – живое сечение решетки, м².

Если изготовитель приводит в каталоге тарифовочные характеристики для воздухораспределителя (в виде зависимости потерь полного или статического давления от производительности), то расход воздуха через воздухораспределитель определяется по измерениям полного или статического давления на решетке

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.
2. К работам по эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных, осветительных, технических средств обучения и электрических машин) допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по охране труда. Не электротехническому персоналу, эксплуатирующему электроустановки до 1000 В, прошедшему инструктаж и проверку знаний по электробезопасности, присваивается I квалификационная группа допуска с оформлением в журнале установленной формы с обязательной росписью проверяющего и проверяемого.
3. Все лица, связанные с работой в лаборатории, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Вопросы для собеседования:

1. Как определяется скорость воздуха в воздуховодах, каналах, проемах
2. В каких случаях применяются Анеометры для измерения скоростей воздуха
3. Принципы измерения скорости воздушного потока в открытых отверстиях.

Лабораторная работа №3 Определение относительной влажности воздуха

Цель: изучить требования, предъявляемые к микроклимату зданий и сооружений.

Знать: требования, предъявляемые к климатизации зданий, населенных мест и городов;

Уметь: работать с инновационными приборами, используемыми для измерения параметров воздушно-теплого режима в помещениях и характеристики систем и инновационного оборудования в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Формируемые компетенции: ОПК-3, ОПК-4

Актуальность темы: посвящена изучению состояния влажного воздуха, которое используется при решении задач, связанных с расчетами вентиляции, систем кондиционирования воздуха, процессов горения топлива, паропроницаемости ограждающих конструкций зданий и др.

Теоретическая часть: Влажный воздух представляет собой смесь сухого воздуха (в свою очередь являющуюся смесью различных газов: кислорода, азота и др.) и водяного пара. Удобно влажный воздух представить в виде бинарной смеси, то есть смеси, состоящей из сухого воздуха и водяного пара. Тогда массовый состав воздуха может быть представлен следующей зависимостью

$$G_{в.в.} = G_{с.в.} + G_{в.п.} \quad (3.1)$$

где $G_{в.в.}$ -масса влажного воздуха, кг;

$G_{с.в.}$ -масса сухого воздуха, кг;

$G_{в.п.}$ -масса водяного пара, кг;

В соответствии с законом Дальтона, сумма парциальных давлений смеси газов равна полному давлению смеси. Атмосферное (барометрическое) давление влажного воздуха, P_a , выражается зависимостью

$$P_a = P_{с.в.} + P_{в.п.} \quad (3.2)$$

где $P_{с.в.}$ -парциальное давление сухого воздуха, Па;

$P_{в.п.}$ -парциальное давление водяного пара, Па.

Количество водяного пара в воздухе (влагосодержание воздуха) является величиной переменной, имеет предельное значение, зависящее от температуры. Воздух, в котором при данной температуре находится максимальное количество водяного пара, называется насыщенным. В соответствии с этим, величина $P_{в.п.}$ в формуле (2) также имеет предельное значение, соответствующее условиям насыщения - $P_{в.п.}$. Предельное количество пара, соответствующее формуле (1), обозначим через $G_{п.н.}$.

Чтобы дать характеристику увлажнения воздуха, используют отношение

$$\varphi = \frac{G_{в.п.}}{G_{п.н.}} \quad (3.3)$$

где φ называют показателем относительной влажности воздуха.

Показатель показывает степень насыщенности воздуха водяным паром в процентах или в долях единицы полного насыщения при одинаковых температуре и давлении.

Можно доказать, что отношение, выраженное в единицах массы, может быть заменено отношением соответствующих давлений и представлено в виде

$$\varphi = \frac{P_{в.п.}}{P_{п.н.}} \quad (3.4)$$

Давление насыщенного водяного пара (водяного пара, насыщающего воздух) зависит только от температуры смеси. В области положительных температур величину $P_{п.н.}$ можно определить с помощью аппроксимирующей зависимости.

$$P_{п.н.} = 479 + (11,52 + 1,62t_n)^2 \quad (3.5)$$

При вычислениях по формуле (3.5) при температуре 20°C ошибка составляет около 3%. Более точные значения можно получить с помощью формулы М.И.Фильнея.

$$P_{п.н.} = \frac{156 + 8,12t_n}{236 + t_n} \quad (3.6)$$

в результате вычислений, по которой величину давления получаем в мм рт.ст. Для преобразования в Па его необходимо умножить на переводной коэффициент 133,42. В формулах (3.5) и (3.6) – температура насыщенного воздуха.

Парциальное давление водяного пара в воздухе (упругость водяного пара) $P_{п.в.}$, Па, может быть определено по зависимости:

$$P_{п.в.} = P_{п.н.} - A(t_c - t_m) \cdot P_a \quad (3.7)$$

где $P_{п.н.}$ -упругость насыщенного водяного пара непосредственно над шариком мокрого термометра при замеренной температуре t_m .

t_c - температура воздуха в точке замера, определенная по сухому термометру, °С;

t_m - температура воздуха по мокрому термометру, °С;

P_6 - барометрическое давление, гПа;

A - психрометрический коэффициент, зависящий от типа психрометра.

Для психрометра Августа $A=0,1574$.

Для психрометра Ассмана $A=0,1195$.

Приведенные выше коэффициенты A найдены из условия, что барометрическое давление P_6 , парциальные давления пара и получаемый результат выражаются в гПа.

Приборы для измерения относительной влажности воздуха.

Психрометр Августа

Наиболее простым прибором, применяемым для измерения относительной влажности воздуха, является психрометр Августа. Он состоит из двух одинаковых выверенных термометров. Резервуар одного из них одернут тонкой материей (батистом), смоченным дистиллированной водой. Резервуар второго термометра остается сухим.

Психрометр Ассмана.

При выполнении психрометрических измерений психрометром Августа возникают погрешности, приводящие к завышению получаемых данных по сравнению с фактическими. Они вызываются

-подводом теплоты к резервуару термометра через выступающий вверх капиллярный канал;

-лучистым теплообменом с окружающими предметами и поверхностями;

-интенсификацией процесса испарения за счет скорости воздушного потока.

Эти погрешности в значительной степени устраняются в психрометре Ассмана. В нем резервуары термометров защищены от теплообмена излучением – они помещены в трубчатые гильзы с хромированной поверхностью, внутри которых с постоянной скоростью (примерно 2 м/с) движется воздух. Таким образом, подвижность воздуха в помещении не вызывает погрешности опыта.

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.
2. К работам по эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных, осветительных, технических средств обучения и электрических машин) допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по охране труда. Не электротехническому персоналу, эксплуатирующему электроустановки до 1000 В, прошедшему инструктаж и проверку знаний по электробезопасности, присваивается I квалификационная группа допуска с оформлением в журнале установленной формы с обязательной подписью проверяющего и проверяемого.
3. Все лица, связанные с работой в лаборатории, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Вопросы для собеседования:

1. Требования предъявляемые к микроклимату помещений.

2. Перечислить основные характеристики влажного воздуха.

3. Приборы для измерения влажности воздуха.

4. Принципы расчета основных характеристик влажного воздуха.

Лабораторная работа №4 Определение коэффициента теплоотдачи радиатора водяного отопления

Цель: изучить требования, предъявляемые к определению коэффициента теплоотдачи радиатора водяного отопления

Знать: требования, предъявляемые к определению коэффициента теплоотдачи радиатора водяного отопления

Уметь: работать с инновационными приборами, используемыми для измерения параметров воздушно-теплого режима в помещениях и характеристики систем и инновационного оборудования в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Формируемые компетенции: ОПК-3, ОПК-4

Актуальность темы: посвящена изучению расчета определения коэффициента теплоотдачи радиатора водяного отопления

Теоретическая часть: Коэффициентом теплопередачи принято называть плотность теплового потока, Вт/м^2 , проходящего через стенку, разделяющую две среды, при разности температур сред, равной 1°C .

Коэффициент теплопередачи представляет собой размерную величину, его размерность $\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$.

В отопительном приборе системы водяного отопления металлическая стенка разделяет воду, находящуюся с внутренней стороны и воздух – с наружной. Величина коэффициента теплопередачи зависит, главным образом, от условий теплоотдачи с внутренней и наружной стороны.

Коэффициент теплопередачи отопительного прибора, $\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$, определяется по формуле.

$$K_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.1)$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи, соответственно на внутренней и наружной поверхности стенки, Вт/м².°С;

R_{cm} - термическое сопротивление стенки, м².°С/Вт, зависящее от ее толщины и коэффициента теплопроводности материала. В отопительных приборах, выполненных из металла, при небольшой толщине стенки этот элемент существенного значения не имеет.

Количество теплоты, отдаваемой радиатором в окружающую среду, определяется по зависимости:

$$Q = KA(t_{cp} - t_B) \quad (4.2)$$

где Q-теплоотдача (тепло производительность, радиатора, Вт);

K-коэффициент теплопередачи радиатора, Вт/м².°С;

A-площадь наружной поверхности отопительного прибора, м²;

Величина A определяется произведением количества секций радиатора на площадь поверхности одной секции, которая в радиаторе лабораторной установки составляет 0,296 м².

t_B - температура окружающего воздуха, °С;

t_{cp} - средняя температура теплоносителя в отопительном приборе, °С, определяемая как среднее арифметическое температур теплоносителя на входе в прибор и на вы ходе из него.

$$t_{cp} = \frac{t_{ex} + t_{вых}}{2} \quad (4.3)$$

где t_{ex} - температура теплоносителя на входе в прибор, °С;

$t_{вых}$ - температура теплоносителя, вытекающего из прибора, °С;

Коэффициент теплопередачи радиатора водяного отопления K, Вт/м².°С, может быть определен по формуле:

$$K = \frac{Q}{A \left(\frac{t_{ex} + t_{exых}}{2} - t_{ex} \right)} \quad (4.4)$$

Предварительно необходимо вычислить тепло производительность радиатора Q, Вт, для чего следует экспериментально определить расход воды G, кг/ч, через испытываемый прибор.

Для определения расхода выполняется отбор навески воды P, кг, за время Z секунд. Расход в кг/ч определяется по формуле:

$$G = 3600 \frac{P}{Z} \quad (4.5)$$

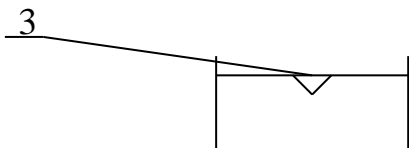
Тепло производительность радиатора вычисляется по формуле:

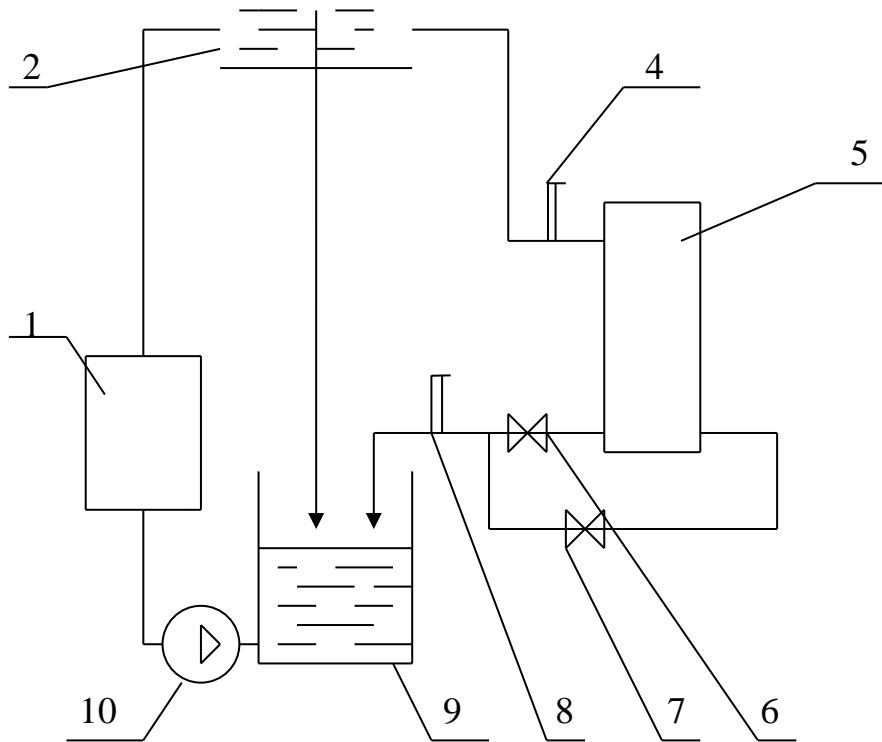
$$Q = 0.278 cG(t_{ex} + t_{exых}) \quad (4.6)$$

Здесь Q - тепло производительность отопительного прибора, Вт;

c - удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/кг.°С.

Схема установки





1-эл.нагреватель; 2-напорный бак; 3-перелив; 4-термометр на трубопроводе, питающем прибор; 5-отопительный прибор; 6,7-краны; 8-термометр для измерения температуры охлажденной воды; 9-сборный бак; 10-циркулирующий насос.

Приборы, необходимые для выполнения работы:

термометры,
секундомер,
мерный сосуд,
весы.

Полученные значения коэффициента теплопередачи сравнить с нормативными значениями, определяемыми по формуле:

$$K_p = m \Delta t^n \bar{G}^p \quad (4.7)$$

где m , n p -опытные коэффициенты;

Δt - средняя разность температур теплоносителя в приборе и окружающего воздуха, °С;

\bar{G} - относительный расход воды.

Влияние относительного расхода на коэффициент теплопередачи невелико, в радиаторах в интервале расходов от 54 до 536 кг/ч эту поправку можно не учитывать. Значения коэффициента принимаются:

$m=2,38$; $n=0,3$; $p=0$.

Вычислить относительную ошибку можно по формуле:

$$K = \frac{K - K_p}{K_p} 100\% \quad (4.8)$$

где K_p - расчетное значения коэффициента теплопередачи полученное по формуле (4.7).

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

- К работам по эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных, осветительных, технических средств обучения и электрических машин) допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по охране труда. Не электротехническому персоналу, эксплуатирующему электроустановки до 1000 В, прошедшему инструктаж и проверку знаний по электробезопасности, присваивается I квалификационная группа допуска с оформлением в журнале установленной формы с обязательной росписью проверяющего и проверяемого.

3. Все лица, связанные с работой в лаборатории, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Вопросы для собеседования:

- Что называют коэффициентом теплоотдачи.
- От чего зависит коэффициент теплоотдачи
- Определение коэффициента теплоотдачи радиатора водяного отопления.

Лабораторная работа №5 Определение коэффициента затекания и теплоотдачи отопительного прибора.

Цель: изучить требования, предъявляемые при определении коэффициента затекания и теплоотдачи отопительного прибора.

Знать: требования, предъявляемые при определении коэффициента затекания и теплоотдачи отопительного прибора.

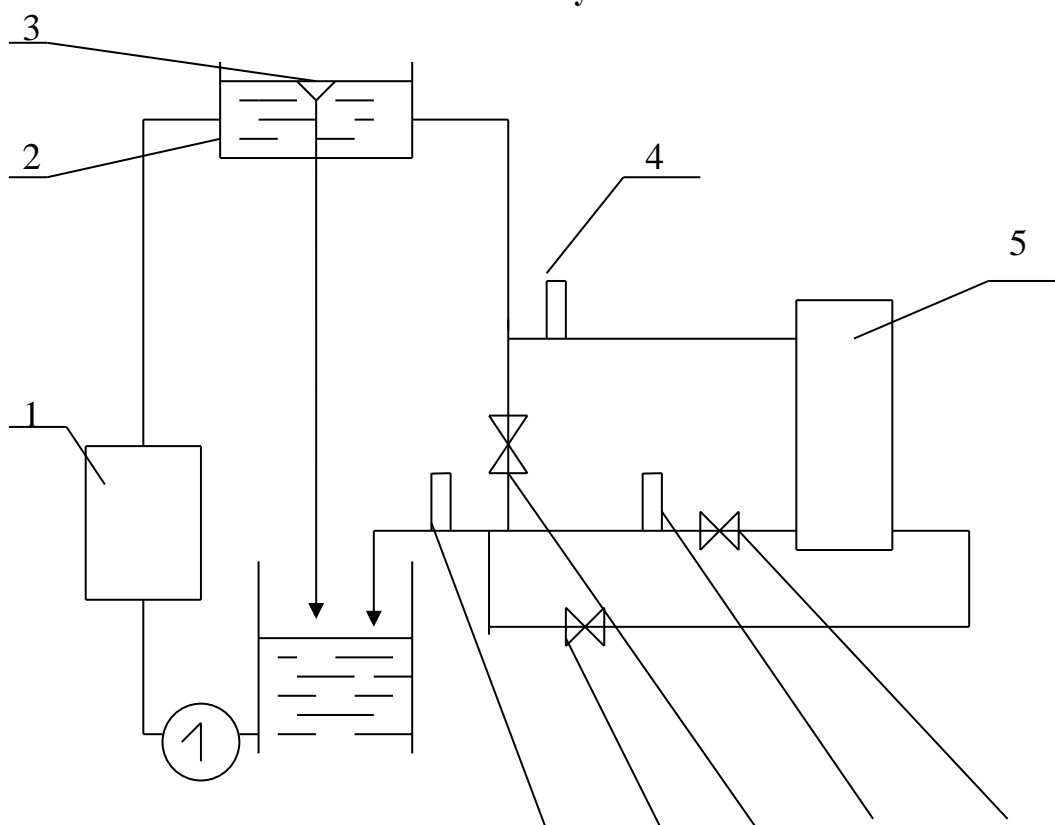
Уметь: работать с инновационными приборами, используемыми для измерения параметров воздушно-теплого режима в помещениях и характеристики систем и инновационного оборудования в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Формируемые компетенции: ОПК-3, ОПК-4

Актуальность темы: посвящена изучению распределения значений температуры в наружном ограждении

Теоретическая часть:

Схема установки



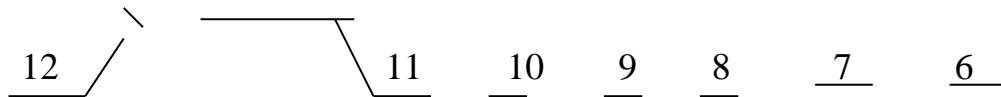


Рис. 5.1 Установка для испытания отопительного прибора:

1-эл.нагреватель; 2-напорный бак; 3-перелив; 4, 7, 10-термометры; 5-испытываемый отопительный прибор; 6, 8, 9-краны, 11-сборный бак; 12-насос.

Циркуляция воды осуществляется при открытых кранах 6 и 8 и закрытом кране 9.

В случае присоединения отопительного прибора к стояку с замыкающим участком (без трехходового крана) часть теплоносителя, протекающего по стояку, $G_{ст}$, поступает в прибор – $G_{пр}$, другая часть, $G_{э.у.}$, направляется по замыкающему участку (рис. 5.2).

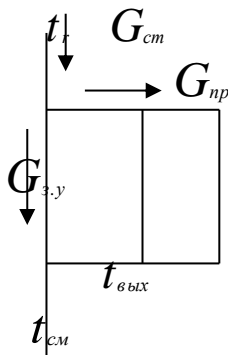


Схема движения потоков воды и распределения температур при наличии замыкающего участка

Коэффициентом затекания принято называть отношение расхода воды в приборе к расходу воды в стоянке:

$$\alpha = \frac{G_{пр}}{G_{ст}} \quad (5.1)$$

Коэффициент α в известной мере является показателем эффективности теплоотдачи отопительного прибора: с увеличением возрастает расход воды через прибор, уменьшается перепад температур воды на входе в прибор и на выходе из него, уменьшается при неизменной теплоотдаче поверхность отопительного прибора.

Теплоотдача (теплопроизводительность) отопительного прибора может быть определена по формуле:

$$Q = c \cdot G_{пр} (t_{г} - t_{вых}), \quad (5.2)$$

где $G_{пр}$ – расход воды, протекающей через отопительный прибор, кг/ч.

c – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг. $^{\circ}\text{C}$);

$t_{г}$ – температура воды, поступающей в прибор, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{вых}$ – температура воды, выходящей из прибора, $^{\circ}\text{C}$.

Если через отопительный прибор проходит весь расход теплоносителя, протекающего по стояку, то его теплопроизводительность описывается зависимостью:

$$Q = c \cdot G_{ст} (t_{г} - t_{см}), \quad (5.3)$$

где $G_{ст}$ – расход теплоносителя, кг/ч, проходящего по стояку;

$t_{см}$ – температура смеси после слияния потоков из отопительного прибора и замыкающего участка, $^{\circ}\text{C}$.

Поскольку в формулах (2) и (3) рассматривается одна и та же теплопроизводительность Q , приравнявая их, получаем:

$$G_{пр} = G_{ст} \cdot \frac{t_{г} - t_{см}}{t_{г} - t_{вых}} \quad (5.4)$$

а с учетом формулы (5.1) определяем:

$$\alpha = \frac{G_{пр}}{G_{ст}} = \frac{t_{г} - t_{см}}{t_{г} - t_{вых}} \quad (5.5)$$

Таким образом, определив температуру воды в стояке до отопительного прибора, после него до слияния потоков и температуру смеси после слияния потоков, мы получаем возможность вычислить значение коэффициента затекания α .

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.
2. К работам по эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных, осветительных, технических средств обучения и электрических машин) допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по охране труда. Не электротехническому персоналу, эксплуатирующему электроустановки до 1000 В, прошедшему инструктаж и проверку знаний по электробезопасности, присваивается I квалификационная группа допуска с оформлением в журнале установленной формы с обязательной росписью проверяющего и проверяемого.
3. Все лица, связанные с работой в лаборатории, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Вопросы для собеседования:

1. Объяснить принцип действия установки
2. Определение коэффициента теплопередачи.

Лабораторная работа №6 Технические испытания системы вентиляции

Цель: изучить требования, предъявляемые при технических испытаниях системы вентиляции

Знать: требования, предъявляемые при технических испытаниях системы вентиляции

Уметь: работать с инновационными приборами, используемыми для измерения параметров воздушно-теплого режима в помещениях и характеристики систем и инновационного оборудования в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

Формируемые компетенции: ОПК-3, ОПК-4

Актуальность темы: определение коэффициента затекания и теплоотдачи отопительного прибора.

Теоретическая часть: Эффективным средством нормализации воздуха рабочей зоны производственных помещений является вентиляция.

В зависимости от способа перемещения воздуха вентиляция бывает двух типов:

- естественная
- искусственная.

Естественная вентиляция.

При естественной вентиляции перемещение воздуха осуществляется за счет разности температур наружного воздуха и воздуха в рабочей зоне (тепловой напор) или за счет ветра (ветровой напор).

Вентиляция может быть организованная и неорганизованная.

Давление, обеспечивающее вытяжку воздуха:

$$\Delta p_2 = h_2(\rho_H + \rho_{cp}) \quad (6.1)$$

где ρ_H - наружная плотность воздуха,

ρ_{cp} - средняя плотность воздуха в рабочей зоне.

Давление, обеспечивающее поступление воздуха в рабочую зону:

$$\Delta p_1 = h_1(\rho_H + \rho_{cp}) \quad (6.2)$$

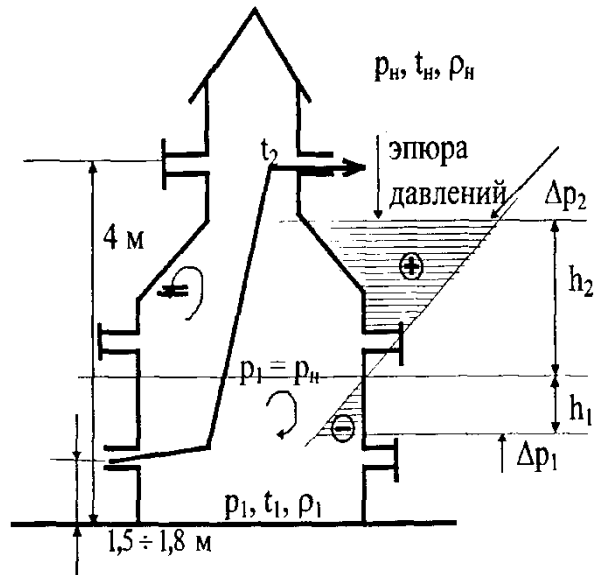
ρ_{cp} определяется по средней температуре:

$$t_{cp} = \frac{(t_1 + t_2)}{2} \quad (6.3)$$

где t_1 - температура воздуха в рабочей зоне,

t_2 - температура удаляемого воздуха.

Схема организованной вентиляции (аэрации)



При естественной организованной вентиляции воздух подается в зону с наименьшим образованием вредных веществ, а удаляется из зоны с их наибольшей концентрацией. Высота подачи воздуха в рабочую зону: 1,5 -1,8 м (по СН 245-71), а в зимнее время высота подачи воздуха должна быть не менее 4 м.

При неорганизованной вентиляции поступление воздуха в рабочую зону осуществляется за счет вытеснения теплого воздуха наружным воздухом через окна, двери, форточки, щели и т.д.

Естественная вентиляция экономична, проста, но не имеет ряд недостатков:

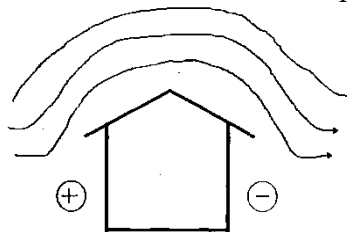
1) применяется в том случае, когда отсутствуют большие выделения вредных веществ в рабочую зону;

2) воздух поступает в производственное помещение неотработанный (неочищенный, неувлажненный);

3) не всегда эффективна (при одинаковой температуре t_n и t_b). Согласно СН 245-71 площадь открывающихся устройств должна быть не менее 20% площади световых проемов.

Ветровой напор.

Схема обтекания здания ветром.



Здание строится с учетом розы ветров.

Давление ветрового напора:

$$p = \frac{a\rho V^2}{2} \quad (6.4)$$

где a - коэффициент аэродинамики.

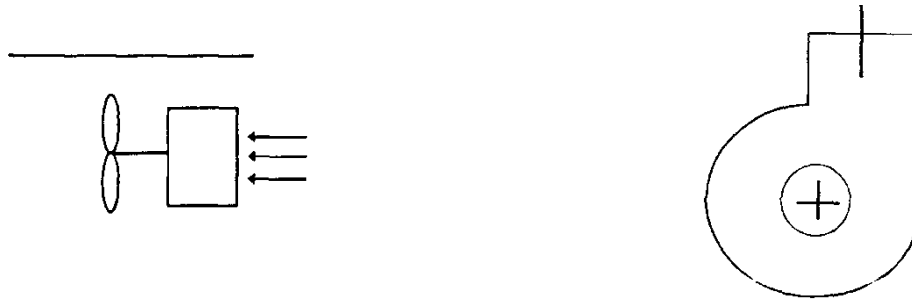
Для наветренной стороны: $a = 0,7 - 0,85$; для заветренной стороны $a = 0,3 - 0,45$.

Искусственная вентиляция.

Устраняет недостатки естественной вентиляции. Осуществляется за счет осевых или за счет центробежных вентиляторов.

Осевой

Центробежный



Искусственная вентиляция может быть общая и местная, а также:

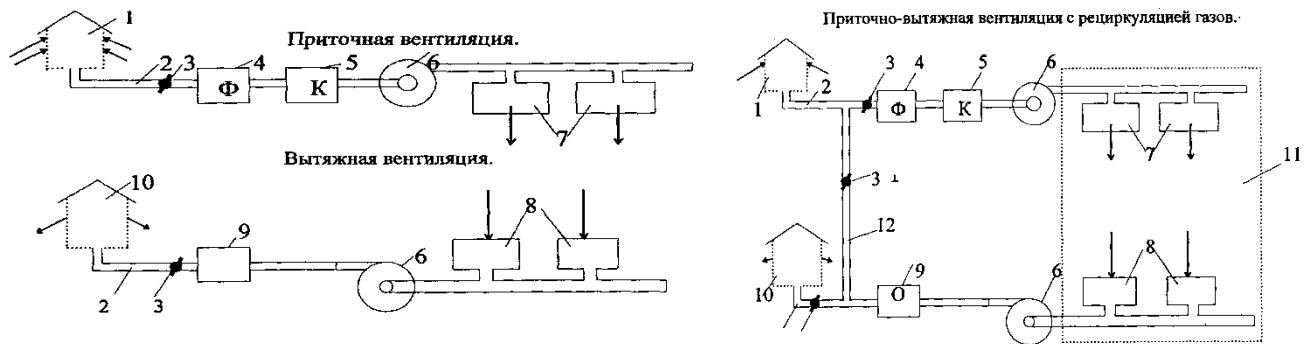
- * приточная
- * вытяжная
- * приточно-вытяжная с рециркуляцией газов.

Приточная - служит для подачи воздуха на рабочее место.

Вытяжная - служит для удаления вредных веществ из рабочей зоны.

Приточно-вытяжная - применяется, когда нужен особо надежный воздухообмен.

Рециркуляция осуществляется с целью экономии тепла. В случае поступления вредных веществ в рабочую зону I, II, III классов опасности рециркуляция не применяется.



1. воздухозаборник; 2. воздуховод; 3. регулирующая заслонка; 4. фильтр; 5. калорифер (для подогрева); 6. вентилятор; 7. воздухораспределители в рабочей зоне; 8. воздухозаборники; 9. очиститель; 10. вытяжная труба; 11. производственное помещение; 12. воздуховод рециркуляции

Согласно СН количество вредных веществ, поступающих в рабочую зону, не должно превышать:

$$0,3 \cdot C_{\text{пдк}} \quad (C < 0,3 \cdot C_{\text{пдк}}) \quad (6.5)$$

Количество вредных веществ, выбрасываемых в ОС не должно превышать норм, установленных санэпидемстанцией в зависимости от вредности вещества.

Основой расчета вентиляционной системы является определение их конструктивных размеров, расхода воздуха, скорости удаления вещества. Правильность выбора вентиляционной системы определяется расчетом гидравлического сопротивления по удаляемому воздуху.

Потери напора в вентиляционных системах определяются зависимостью:

$$P = \sum_{i=1}^n R_i l_i + \sum_{j=1}^m Z_j \quad (6.6)$$

где R_i - потери давления по длине i -го участка вентиляционной системы, Па/м,

l_i - длина i -го участка,

Z_j - потери давления на местном сопротивлении.

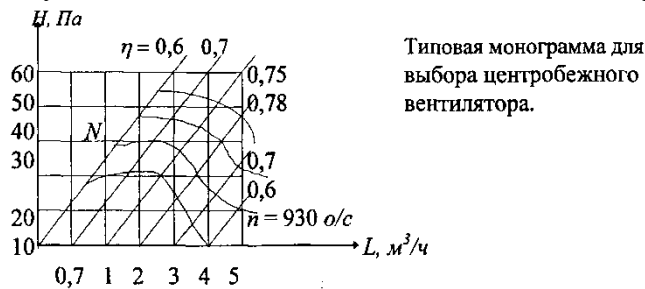
Потери давления по длине i -го участка:

$$R_i = \xi \rho V^2 / 2 d_{\text{экр}} \quad (6.7)$$

где ξ - коэффициент сопротивления участка (по таблицам),
 ρ - плотность газа (воздуха),
 V - скорость движения на данном участке,
 $d_{\text{экв}}$ - диаметру трубопровода (для круглого сечения),
 $d_{\text{экв}} = 2ab/(a+b)$ (для прямоугольного сечения).
 Потери давления на местном сопротивлении:

$$Z_j = \xi_j \rho V^2 / 2 \quad (6.8)$$

где ξ_j - коэффициент местного сопротивления (таблица).
 Выбор вентиляторов осуществляется на основе каталогов по монограммам.



H - напор воздуха, Па,
 L - расход воздуха, м³/ч,
 η - КПД вентилятора,
 N - мощность, кВт,
 n - число оборотов.

Требуемая мощность на валу вентилятора:

$$N_B = \frac{HL(273 + t)}{1000\eta 273} \quad (6.9)$$

где H - производительность вентиляционной системы, м³/с,
 L - полное давление при $t = 20^\circ\text{C}$,
 η - КПД вентилятора.
 Необходимая мощность электродвигателя для вентилятора:

$$N = \frac{KN_B}{\eta_{\text{nc}}} \quad (6.10)$$

где K - коэффициент запаса [1,1 - 1,5],
 η_{nc} - КПД передачи от электродвигателя к вентилятору.

Местная вентиляция.

Служит для удаления вредных веществ непосредственно из зон их выделения (местах пайки, сварки, лужения, механического распада и т.д.) и препятствует таким образом распространению их в рабочей зоне производственных помещений.

В зависимости от назначения местная вентиляция может быть:

- вытяжная (вытяжные зонты, зоны; бортовые, боковые отсосы, шарнирно-телескопические отсосы; отсосы, встроенные в рабочие места и инструменты и т.д.);
- приточная (воздушно-тепловые завесы, воздушные души).

В зависимости от взаимного расположения источников вредных выделений и отсасывающих устройств местная вентиляция может быть:

- открытая
- закрытая.

К открытой местной вентиляции относятся устройства, в которых отсасывающие отверстия (панели) расположены на некотором расстоянии от источника вредных выделений.

В местной вентиляции закрытого типа источники вредных выделений расположены внутри укрытия, в котором создается разрежение и за счет этого ограждается распространение вредных веществ в рабочей зоне (вытяжные витринные отсосы, кожухи, кабины и т.д.).

Вытяжные зонты.

Вытяжные зонты предназначены для удаления вредных веществ, распространяющихся вверх (т.е. легче воздуха) на большой площади как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Расход отсасываемого воздуха, м³/с:

$$L = 3600SV_{cp} \tag{6.11}$$

где S - площадь входного сечения зонта (м²),

V_{cp} - необходимая скорость для удаления вредных веществ в плоскости всасывания зонта (м/с):

$$V_{cp} = 4,8 \cdot V_x \cdot x / d_{эКВ} \cdot \sqrt{1 + 1,1 \cdot (x / d_{эКВ})^2} \tag{6.12}$$

где V_x - скорость воздуха в зоне образования вредных веществ,

x - расстояние от источника вредных выделений до входного сечения зонта,

$d_{эКВ}$ - эквивалентный диаметр.

Зонты рекомендуется устанавливать и над источником тепловых излучений.

В зависимости от конструкции зонты бывают различных типов:

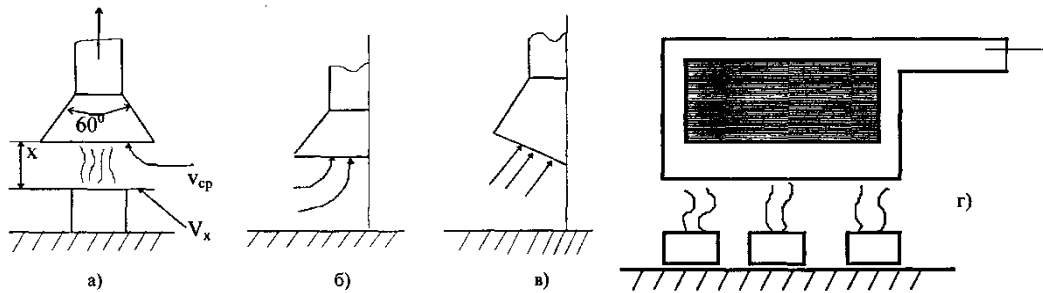


схема общего отсоса над несколькими источниками

Зонты устанавливают над нагретыми источниками образования вредностей, которые способствуют образованию тепловых.

Расход отсасываемого воздуха, м³/ч определяется для случая а) - в):

$$L = L_k \cdot F_3 / F_{II} \tag{6.13}$$

F_3 - площадь сечения зонта;

F_{II} - площадь источника тепла;

L_k - количество воздуха, подтекаемого к зонту с конвективной струей:

$$L_k = 22,3 \cdot \lambda^{1/3} \cdot Q^{1/3} \cdot x^{1/3} \tag{6.14}$$

где λ - коэффициент, представляющий собой отношение тепла за счет конвекции к общему теплу, выделяемому источником:

$$\lambda = Q_k / Q_{\Sigma} \tag{6.15}$$

где Q_{Σ} - общее количество выделяемого тепла, Вт;

x - расстояние от низа нагретой поверхности до входного сечения зонта, м;

г) для зонта, удаляющие вредные вещества от нескольких источников одинаковой мощности, количество воздуха, подтекаемого к конвективной струе:

$$L_k = 22,3 \cdot \lambda^{2/3} \cdot Q^{1/3} \cdot x^{5/3} \quad (6.16)$$

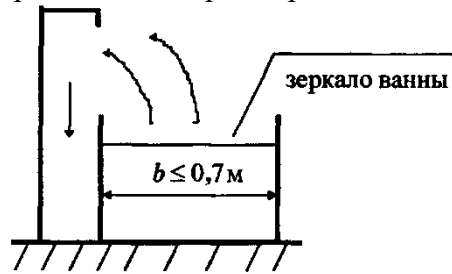
где n - количество источников вредных выделений.

Бортовые отсосы.

Применяются преимущественно над ваннами с горячими растворами и выделяющими вредностями тяжелее воздуха (гальванические, травильные и т.д. ванны).

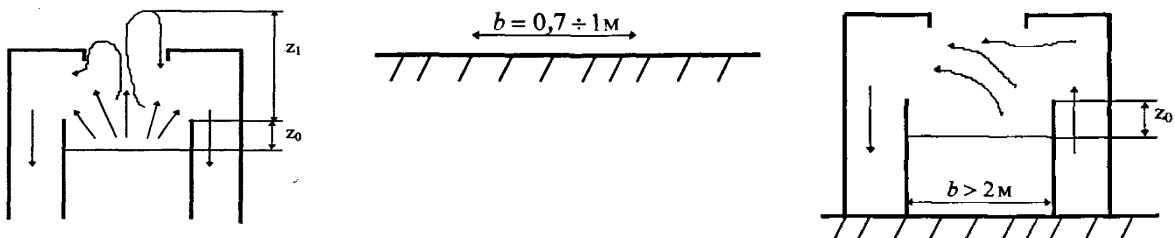
В зависимости от конструкции бортовые отсосы бывают:

односторонние бортовые: применяются при ширине ванны $b < 0,7$ м



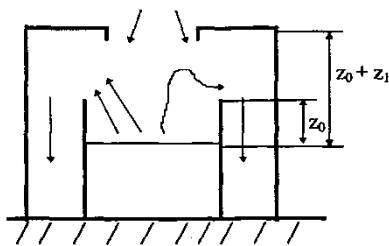
Выделяющиеся пары всасываются вместе с воздухом через щелевое всасывающее отверстие.

двусторонние бортовые: при ширине ванны $b = 0,7 - 1$ м



Z_1 - допустимая высота подъема вредных выделений над верхней кромкой ванны с нагретым раствором, определяется по таблице (принимается 40—160 мм и зависит от токсичности вредных веществ), * двусторонние со сдвжкой: при ширине ванны $b > 2$ м

Z_0 - расстояние от поверхности испарения раствора в ванне до низа вытяжного отверстия отсоса (100-200 мм), * опрокинутые бортовые отсосы



Расход воздуха в бортовых отсосах зависит от токсичности выделяющихся вредностей, размеров ванн, уровня раствора, температуры раствора и т.п.

Расход удаляемого воздуха равен для двусторонних отсосов:

$$L = K \cdot F / Q \cdot \sqrt[3]{b} \cdot \sqrt{t_p - t_b} \quad (6.17)$$

Где K - коэффициент, равный 600 - для обычных отсосов,

450 - для опрокинутых отсосов;

Q - величина, зависящая от Z_0/b , и Z_0+Z_1/b :

$Q = f\left(\frac{Z_0}{b} \cdot Z_0 + \frac{Z_1}{b}\right)$ - выбирают по графикам;

F - поверхность нагрева раствора ванны, m^2 ;

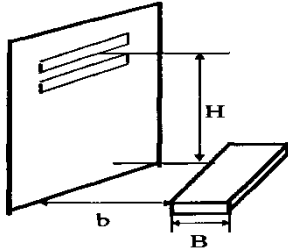
t_p - температура раствора, $^{\circ}C$;

t_b - температура воздуха, $^{\circ}C$.

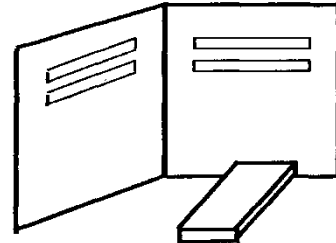
Боковые отсосы.

Применяются, когда по типу производства нельзя применять вытяжной шкаф или отсасывающие отсосы закрытого типа. В зависимости от конструкции боковые отсосы бывают:

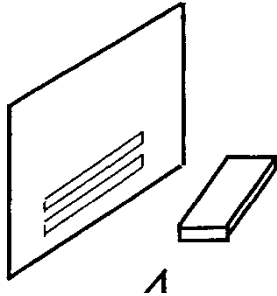
- 1) верхние односторонние
- 2) угловые
- 3) нижние односторонние
- 4) комбинированные



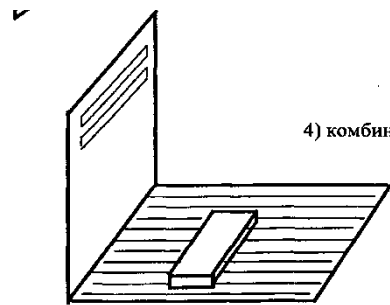
1) верхний односторонний



2) угловой



3) нижний односторонний



4) комбинированный.

Расход удаляемого воздуха определяется:

$$L = C \cdot (3,975 - 1,87 \cdot 10^{-3} \cdot t) \cdot \sqrt{Q \cdot (H + B)^5} \text{ [м}^3\text{/ч]},$$

Где t - температура поверхности источника, °С;

Q - количество тепловыделений от источника, Вт;

H - расстояние от верхней плоскости источника до центра всасывающей поверхности,

м;

B - ширина источника, м;

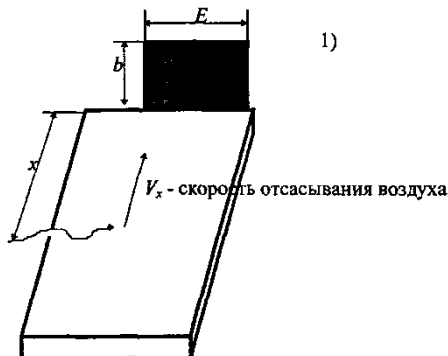
C - коэффициент, учитывающий конструкцию отсоса и взаимное расположение источника вредных веществ (или тепла) и плоскости всасывания [260 - 345].

Отсосы, встроенные в рабочие места.

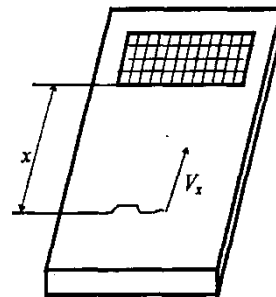
При пайке, сварке и др. технологических процессах применяются указанные отсосы.

Различают отсосы с приемными отверстиями:

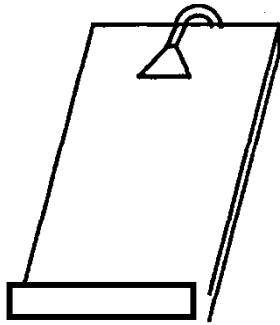
- 1) с вертикально расположенной отсасывающей поверхностью;
- 2) расположенные в плоскости стола;
- 3) расположенные над столом.



1)



2)



3)

x - расстояние от места гайки до панели.

Приемные отверстия отсасывающих панелей могут быть выполнены прямоугольной формы с острыми кромками или круглыми.

Объем отсасываемого воздуха для прямоугольных отверстий с острыми кромками:

$$L = \left(S + 7,7 \cdot E^{0,63} \cdot x^{1/5} \right) \cdot V_x, \text{ [м}^3\text{/ч]},$$

Где S - площадь всасывающего отверстия, м^2 ;

E - длина большей стороны прямоугольного всасывающего отверстия, м ;

x - расстояние от плоскости всасывающего отверстия до рассматриваемой зоны пайки, м ;

$V_x > 0,5 \text{ м/с}$ - осевая скорость в зоне пайки.

Меньшая сторона всасывающего отверстия определяется из зависимости:

$$b/E = 0,24 \cdot \left(x/E \right)^{0,36}$$

Формула справедлива для соотношений $b/E = 0,01K1$.

Для круглого отверстия расход отсасываемого воздуха:

$$L = \pi/4 \cdot \left(d^2 + 9,1 \cdot d^{0,6} \cdot x^{1/4} \right) \cdot V_x, \text{ [м}^3\text{/ч]}, \text{ где}$$

d - диаметр всасывающего отверстия, м .

Объем отсасываемого воздуха для схемы 3) определяется:

$$L = 6800 \cdot \pi \cdot V_x \cdot \frac{(x^2 + h^2)^{3/2}}{x}, \text{ где}$$

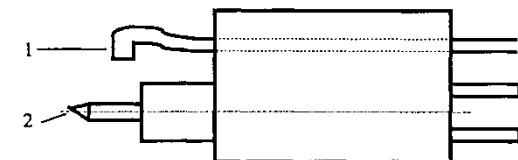
h - уровень центра всасывающего отверстия над поверхностью стола, м ;

x - расстояние от заданной точки на поверхности стола до проекции на нее центра всасывающего отверстия, м .

Отсосы, встроенные в инструмент (паяльник).

Могут быть:

* кольцевой



1 - всасывающее отверстие трубы;

2 - паяющий стержень.

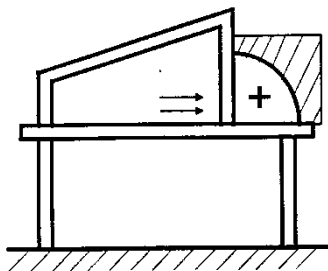
Кольцевой отсос с помощью полой трубки и гибкого шланга соединяют с магистральным воздуховодом диаметром 70 - 76мм.

Количество удаляемого воздуха при диаметре паяльного стержня $d < 3,0 \text{ мм}$ при кольцевом отсосе равно $1,5 \text{ м}^3\text{/ч}$; при диаметре стержня до 6 мм - количество удаляемого воздуха равно $6 \text{ м}^3\text{/ч}$.

При верхнем отсосе при диаметре паяющего стержня до 6 мм: $3 \text{ м}^3\text{/ч}$.

Отсосы витринного типа.

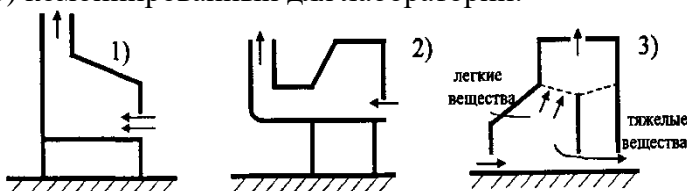
Представляют собой низкие вытяжные шкафы с остекленной верхней крышкой. Применяются при пайке, лужении, работе с эпоксидными смолами; операции с особо вредными веществами.



Вытяжные шкафы применяются при термической и гальванической обработке металлов, окраске, развеске и расфасовке сыпучих материалов.

Различают вытяжные шкафы:

- 1) с верхним отсосом
- 2) с нижним отсосом
- 3) комбинированный для лабораторий.



Формула расхода: $L = 3600 \cdot S \cdot V_{cp}$, [м³/ч].

1. Скорость удаления вредных веществ из мест их образования V_x устанавливается отраслевыми требованиями техники безопасности или санэпидемстанциями и принимается равной:

-при работе со свинцово-оловянным припоем для удаления аэрозолей Pb, канифоли, спирта

$$V_x = 0,7K \cdot 0,8 \text{ м/с};$$

-при работе с эпоксидными смолами:

- a) холодными $V_x = 1 \text{ м/с}$;
 - b) нагретыми $V_x = 1,5 \text{ м/с}$;
 - c) нагретыми с твердыми включениями $V_x = 0,3 \text{ м/с}$;
- при удалении паров бензина $V_x = 0,5 \text{ м/с}$;

2. При выполнении технологических процессов местная вентиляция должна быть заблокирована технологическим оборудованием (включение вентиляции за 15 минут до начала работы и выключение через 15 минут до конца).

Воздушные и воздушно-тепловые завесы (приточная вентиляция).

Предусматриваются у открывающихся технологических ворот, у дверей, которые открываются не менее 5 раз за смену или более, чем на 40 минут.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы на время открытия ворот, технологических проемов должны обеспечить температуру воздуха на рабочих местах при легких работах - +14 °С, при средней тяжести - +12 °С, при тяжелых работах - температуру +8 °С.

Аварийная вентиляция.

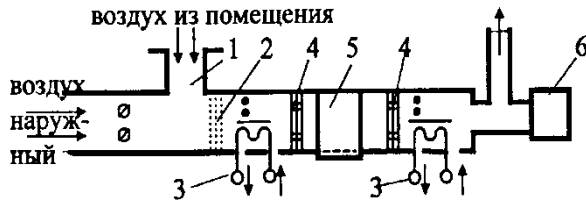
Предусматривается в тех производственных помещениях, где возможен выброс вредных веществ в больших количествах. Должна быть только вытяжной, включаться автоматически. Датчики аварийной вентиляции настраиваются на $S_{пдк}$. Вытяжные трубы не должны располагаться в местах возможного скопления людей или вблизи всасывающих устройств вентиляционных систем. Кратность воздухообмена должна быть не менее 8 раз в час, но устанавливается санслужбами в зависимости от вредности вещества (Hg - 60-100 раз).

Кондиционеры.

В приборостроении широкое применение имеют кондиционеры - аппараты для автоматической обработки воздуха, подаваемого в помещение. Они обеспечивают

оптимальные параметры микроклимата и чистоту воздуха в помещении независимо от внешних условий.

Местные:



теплоноситель

1 – корпус, 2 - фильтр очистки воздуха, 3 – калорифер, 4 – каплеулавливатель, 5 - увлажнительная камера (для повышения влажности), 6 - электродвигатель вентилятора.

Основы расчета воздухообмена.

Расчет воздухообмена производится в зависимости от количества работающих, от наличия в воздухе рабочей зоны вредных паров, газов, пыли, избытков влагосодержания и избытков явного тепла.

В зависимости от количества работающих количество воздуха определяется зависимостью:

$$L_B = n \cdot L, [M^3/ч], \text{ где}$$

n - количество работающих;

L - расход воздуха на одного работающего.

В соответствии с санитарными нормами СН 245 - 71 расход воздуха на одного работающего может быть:

- при $V < 20m^3$ на одного работающего $L = 30 m^3/ч$, где V - объем помещения;

- при $V = 20 - 40m^3$ $L = 20 m^3/ч$;

- при $V > 40m^3$ и при отсутствии выделений вредных веществ воздух рабочей зоны допускается естественная вентиляция, если не предъявляются дополнительные требования к воздуху в производственном процессе. При отсутствии окон и открывающихся створок $L > 60 m^3/ч$ на одного человека.

При выделении в воздух рабочей зоны избытков влаги расход воздуха определяется зависимостью:

$$L_B = \frac{G_{вл}}{(K_2 - K_1) \cdot 10^{-3}}, [M^3/ч], \text{ где}$$

$G_{вл}$ - избыток влаги, поступающей в помещение, кг/ч;

K_2 - количество влаги, удаляемое воздухом помещения;

K_1 - количество влаги, поступаемое в воздух в помещении.

При выделении в воздух рабочей зоны вредных веществ расход воздуха определяется зависимостью:

$$L_B = \frac{\Psi G_{вв}}{(C_2 - C_1) \cdot 10^{-6}}, [M^3/ч]$$

Где $\Psi = 1,2 - 2$ - коэффициент неравномерности распределения вредных веществ в воздухе рабочей зоны;

C_2 - концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемом из производственного помещения $[мг/м^3]$; $C_2 > C_{пдк}$;

C_1 - концентрация вредных веществ в воздухе, поступающем в рабочую зону; $C_1 < 0,3 \cdot C_{пдк}$;

$G_{вв}$ - количество вредных веществ, поступающих в рабочую зону $[кг/ч]$.

Если в воздухе рабочей зоны находятся вещества однонаправленного действия, то суммарный (общий) расход воздуха равен сумме расходов воздуха для удаления каждого вещества в отдельности.

При наличии в воздухе рабочей зоны избытков явного тепла расход воздуха определяется зависимостью:

$$L_B = \frac{3600 Q_{ият}}{\rho \cdot C \cdot (t_2 - t_1)}, [M^3/ч], \text{ где}$$

$Q_{ият}$ - избыток явного тепла. Для теплого периода года

$$Q_{\text{ият}} = \sum Q + Q_{\text{ср}} - Q_n, \text{ где}$$

$\sum Q$ - суммарное тепло от технологического оборудования;

$Q_{\text{ср}}$ - тепло от солнечной радиации (для теплого периода года); для холодного периода года $Q_{\text{ср}}=0$, тогда $Q_{\text{ср}} = \sum Q - Q_n$;

Q_n - тепловые потери;

ρ - плотность воздуха, кг/м^3 ; для нормальных условий при $t = 20^\circ\text{C}$ $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$;

C - теплоемкость воздуха;

$t_2 - t_1$ - разность температур удаляющего и поступающего воздуха;

$K = L_v/V$ - коэффициент краткости воздухообмена;

V - объем производственного помещения.

Кратность воздухообмена устанавливается в зависимости от вредности вещества.

$K=10-15$ - для многих веществ;

$K_{\text{Hg}} > 60$.

Очистка вентиляционного воздуха.

Многие технологические процессы в приборостроении предъявляют повышенные требования к воздуху, поступающему в рабочую зону и выбрасываемому в атмосферу. Т.о. очистка - неотъемлемая часть технологического процесса (см. сх. вентиляции).

Для очистки воздуха от вредных газов применяются следующие физико-химические методы:

1) промывка газов растворами реагентов, связывающих примеси химически (химическая абсорбция);

2) промывка газов растворителями - поглощение вредных веществ (физическая абсорбция);

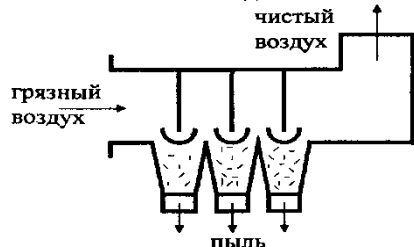
3) поглощение газов твердыми веществами (сорбентами) - адсорбция;

4) физическое разделение газов - конденсация компонентов;

5) термический метод очистки (прямое или каталитическое сжигание).

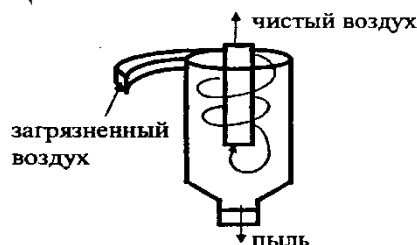
Для очистки воздуха от пыли применяются пылеосадительные камеры (гравитационный тип пылеулавливателей); циклоны (инерционный тип пылеулавливателей); рукавные фильтры (тканевый тип пылеулавливателей); электрофильтры (электрический тип пылеулавливателей).

Схема пылеосадительной камеры:



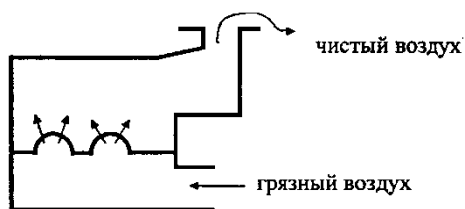
Скорость движения - $0,2 \text{ м/с}$; удаляет частицы до 20 мкм ; класс очистки - V.

Циклоны:



Класс очистки - II-V; удаляет частицы размером $(2- 20) \text{ мкм}$; КПД = 95%. При применении мокрой очистки эффективность повышается (до II класса очистки).

Рукавные фильтры (как в пылесосе):



Ионизация воздуха.

Это процесс превращения нейтральных частиц в заряженные частицы.

Ионизация может быть:

- * естественная
- * технологическая
- * искусственная.

Естественная - проходит повсеместно и постоянно во времени за счет воздействия на воздушную среду космических излучений и частиц, выбрасываемых радиоактивными веществами при распаде.

Технологическая - происходит под воздействием на воздух рабочей зоны радиоактивного, рентгеновского, ультрафиолетового излучений, при термоэмиссии, фотоэффекте. Имеет место в машинных залах ЭВМ, в помещениях для дисплеев, электроустановок, возле электровыпрямителей, высоковольтных линиях электропередач, при кондиционировании воздуха и др.

Искусственная - осуществляется специальными устройствами - ионизаторами, которые обеспечивают в ограниченном объеме воздушной среды заданную концентрацию ионов необходимой полярности.

Ионы характеризуются подвижностью и зарядом.

В зависимости от подвижности ионы различают: легкие, тяжелые, Лонжевена и сверхтяжелые.

Процесс образования ионов сопровождается одновременно и их исчезновением.

В зависимости от соотношения ионизации и деионизации устанавливается определенная степень ионизованности воздуха. В соответствии с ГОСТ 12.0.003 - 74 ССБТ как избыток, так и недостаток как положительных, так и отрицательных ионов относится к вредным производственным факторам.

Степень ионизованности воздуха - определяется количеством ионов обеих полярностей в одном см³ воздуха и показателем полярности;

$$P = \frac{P^+ - P^-}{P^+ + P^-}$$

где P⁺, P⁻ - количество "+" и "-" ионов.

Количество ионов в рабочей зоне нормируется СН 2152 - 80.

Устанавливается нормированное число ионов:

показатель	количество ионов в 1 см ³ воздуха		показатель
	P ⁺	P ⁻	
минимально-	400	600	.0,2
оптимальные	1500-3000	3000-5000	-0,5-0
максимально-	50000	50000	-0,05-0,05

Для нормализации ионного состава воздуха применяется:

- * приточно-вытяжная вентиляция;
- * удаление рабочих мест из зон образования ионов;
- * автоматическое регулирование ионного состава;
- * групповые или индивидуальные ионизаторы. Согласно ОСТ 11.296.019 - 76

компенсация ионной

недостаточности осуществляется искусственной ионизацией за счет применения аэроионизаторов:

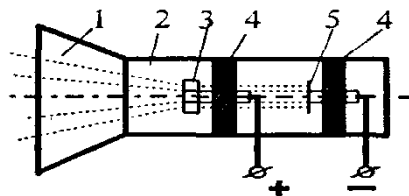


Схема искусственного ионизатора:

1 - воздухораспределитель; 2 - воздуховод; 3 - управляющий электрод; 4 - изолятор; 5 - коронирующий электрод.

Питается от высоковольтного источника: 5000 В и выше I- при совмещении в одну систему двух униполярных аэроионизаторов образуется биполярный регулируемый аэроионизатор, который обеспечивает нормированный уровень ионизации. Для измерения ионов применяются счетчики аэроионов типа САИ - ТГУ или АСИ.

Испытания и наладку систем вентиляции и кондиционирования воздуха осуществляет при их приемке и в процессе эксплуатации. При приемке испытание проводят после окончания строительно-монтажных работ до установки технологического оборудования или при его частичной загрузке.

В соответствии с проектом проверяют:

производительность и полное давление вентилятора; объемный расход воздуха, проходящего через отдельные воздухоприемные и воздуховыпускные устройства, теплопроизводительность калориферных установок, режим работы насосов оросительных камер; параметры воздуха, поступающего в помещение.

Для оценки эффективности вентиляции в процессе эксплуатации системы проводят техническое и санитарно-гигиеническое испытание установки.

При техническом испытании вентиляционной установки определяет:

а) производительность и полное давление вентилятора, а также частоту вращения колеса вентилятора и ротора электродвигателя;

б) расходы удаляемого и подаваемого воздуха, скорости движения воздуха в вентиляционных каналах, выпуска его из приточных насадок и отверстий, всасывания в сечениях вытяжных отверстий, а также распределение, расхода воздуха по отдельным участкам вентиляционной сети;

в) температуру приточного и удаляемого воздуха, сопротивление и теплопроизводительность калориферов;

г) пропускную способность и сопротивление пылеулавливателей и фильтров;

д) охлаждающую мощность воздухоохладителей и холодильных установок;

е) характер работы оросительных камер (расход и температуру воды, количество испаряющейся и конденсирующейся влаги);

ж) наличие подсосов или утечек воздуха по отдельным элементам системы (воздуховоды, фланцы, камеры, фильтры и кондиционеры).

При санитарно-гигиеническом испытании вентиляционных систем определяют обеспечивает ли вентиляционная система:

а) заданные значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха как в рабочей зоне помещения, так и на рабочих местах;

б) требуемую чистоту воздуха как в отношении содержания пыли, так и газов, паров вредных веществ и влаги;

в) необходимую чистоту, температуру и относительную влажность поступающего в помещение воздуха;

г) заданные значения температуры, относительной влажности и допустимой запыленности и загазованности воздуха удаляемого из помещения в атмосферу.

Эффективность санитарно-гигиенической вентиляции следует определять в теплое и в холодное времена года, так как она зависит от наружных метеорологических условий.

В данной работе санитарно-гигиенические испытания не предусмотрены.

Аппаратура для технического контроля за работой вентиляционных систем

Согласно ГОСТ 12.3.018-79 "Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний" для измерения давлений и скоростей движения воздуха в воздуховодах (каналах)

должны быть выбраны участки с расположением мерных сечений на расстояниях не менее шести гидравлических диаметров (D_h , м) за местом возмущения потока (отводы, шиберы, диафрагмы и т.п.) и не менее двух гидравлических диаметров перед ним.

При отсутствии прямолинейных участков необходимой длины допускается располагать мерное сечение в месте, делящем выбранный для измерения участок в отношении 3:1 в направлении движения воздуха. Гидравлический диаметр определяется по формуле

$$D_h = \frac{4F}{\Pi}$$

где F - площадь, m^2 , Π — периметр сечения, м.

Допускается размещать мерное сечение непосредственно в месте внезапного расширения или сужения потока. Его размер в этом случае принимают соответствующим наименьшему размеру канала.

Координаты точек измерений давлений и скоростей, а также количество точек определяются формой и размерами мерного сечения по рис.1. Максимальное отклонение координат точек измерений от указанных на чертеже не должно превышать $\pm 10\%$.

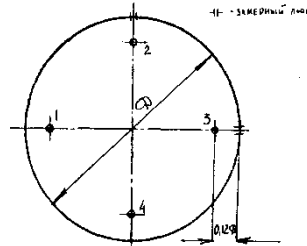


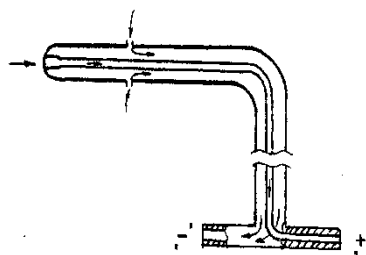
Рис.1 Координаты точек измерений давлений и скоростей в воздуховодах цилиндрического сечения при $100 < D < 300$ мм

Количество измерений в каждой точке должно быть не менее трех.

При использовании анемометров время измерения в каждой точке должно быть не менее 10 с.

Для аэродинамических испытаний вентиляционных систем применяется следующая аппаратура:

а) комбинированный приемник давления - для измерения динамических давлений потока при скоростях движения воздуха более 5 м/с и статических давлений в установившихся потоках (рис.2);



Комбинированный приемник давления (пневмометрическая трубка Пито-Прандтля)

б) дифференциальные манометры класса точности от 0,5 до 1,0 по ГОСТ 11161-71, ГОСТ 18140-77 и тягомеры по ГОСТ 2648-78 - для регистрации перепадов давлений;

в) анемометры по ГОСТ 6376-74 и термоанемометры - для измерения скоростей воздуха не менее 5 м/с;

г) барометры класса точности не ниже 1,0 - для измерения давления в окружающей среде;

д) ртутные термометры класса точности не ниже 1,0 по ГОСТ 13646-68 и термопары - для измерения температуры воздуха;

е) психрометры класса точности не ниже 1,0 по ГОСТ 112-78 - для измерения влажности воздуха.

Трубка Пито-Прандтля состоит из двух трубок, вставленных одна в другую: внутренняя - соединена с полушаровой головкой, имеющей отверстие на конце, предназначена для измерения полного давления; наружная - имеет на согнутом участке два отверстия для измерения статического давления.

При проведении измерений трубку вставляют внутрь через измерительные лючки в стенках воздуховодов. Трубка устанавливается перпендикулярно к оси воздуховода так, чтобы наконечник ее был направлен против потока воздуха, а ось наконечника была бы параллельна потоку воздуха (см. плакат на стенде).

Используемый в работе U -образный водяной манометр позволяет измерять давление в кгс/м². Для получения давления в Па измеренное значение давления следует умножить на 9,81м/с². На рис.3 показана схема измерения полного, статического и динамического давлений с помощью трубки Пито-Прандтля и трех водяных U -образных манометров.

При скоростях воздуха в воздуховодах менее 5 м/с используются микроманометры. Схема присоединения трубки Пито-Прандтля к микроманометрам показаны на рис 4.

В левой части рис.4 показана схема присоединения шлангов приемника давления к микроманометру при измерении давлений на всасывающей стороне вентиляционной установки. Так как при этом внутри воздуховода давление меньше атмосферного, то нижний манометр, соединенный шлангом с концом трубки статического давления, покажет статическое давление в миллиметрах водяного столба (или в килограмм-силах на квадратный метр), и столбик жидкости в нем будет поднят атмосферным давлением на уровень пониженного давления в воздуховоде. На всасывающей стороне вентилятора статическое давление P_s будет максимальным, но с отрицательным знаком.

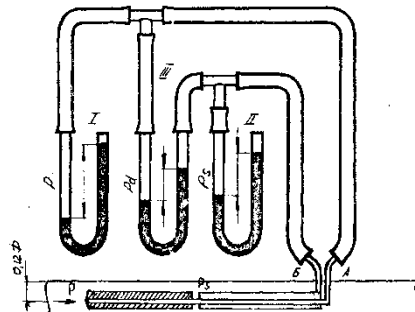


Рис.3. Схема измерения полного, статического и динамического давлений с помощью трубки Пито-Прандтля

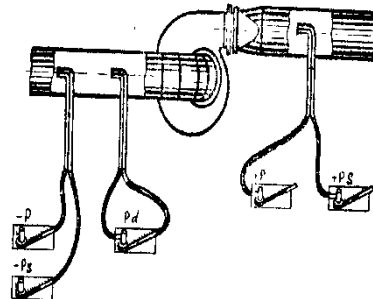


Рис.4. Схема соединения трубок Пито-Прандтля с микроманометрами

Динамическое давление P_d (независимо от того, при каком избыточном статическом давлении движется воздух - положительном или отрицательном) всегда положительно. Поэтому полное давление, равное алгебраической сумме статического и динамического давлений, по показанию левого манометра будет по абсолютному значению меньше статического и по знаку отрицательно.

Правый манометр присоединен к двум концам приемников давления и показывает разность полного и статического давлений:

$$P_d = -P - (-P_s) = P_s - P = P_d,$$

Тем самым подтверждается, что P_d положительно.

В правой части рис.4 показано распределение давления в вентиляционной сети за вентилятором, где в воздуховоде давление воздуха больше атмосферного. Согласно этому условию максимальная разность высот уровней жидкости будет при измерении полного давления на левом манометре, так как

$$P = P_s + P_d.$$

При положительном знаке P_s эта сумма увеличивается, показываемое правым манометром P_s больше атмосферного.

Частота вращения колеса вентилятора и вала электродвигателя определяется с помощью тахометра и счетчика оборотов.

Согласно ГОСТ 12.3.018-79 испытания следует проводить не ранее чем через 15 мин после пуска вентиляционного агрегата,

При испытаниях измеряют:

барометрическое давление окружающей воздушной среды V_a , Па(кгс/м²);

температуру перемещаемого воздуха сухим и влажным термометрами соответственно t и t_{ϕ} , °С;

температуру воздуха в рабочей зоне помещения t_a , °С;

динамическое давление потока воздуха в точке мерного сечения P_{di} , Па(кгс/м²);

статическое давление воздуха в точке мерного сечения P_s , Па(кгс/м²);

полное давление воздуха в точке мерного сечения P_1 , Па (кгс/м²);

время перемещения анемометра по площади мерного сечения, τ , с;

число делений счетного механизма оборотов механического анемометра за время τ обвода сечения n_a ;

число оборотов n колеса вентилятора и вала электродвигателя, рад(об/мин).

Назначение и характеристики воздухораспределителей

В этом разделе рассмотрены назначение, устройство и принцип действия воздушного душа и воздухораспределителя пристенного.

Воздушные души - наиболее эффективное средство обеспечения на постоянных рабочих местах нормативных параметров микроклимата. Особенно эффективно применение воздушных душ при тепловом облучении рабочих у промышленных печей, при работах с нагретыми слитками, заготовками.

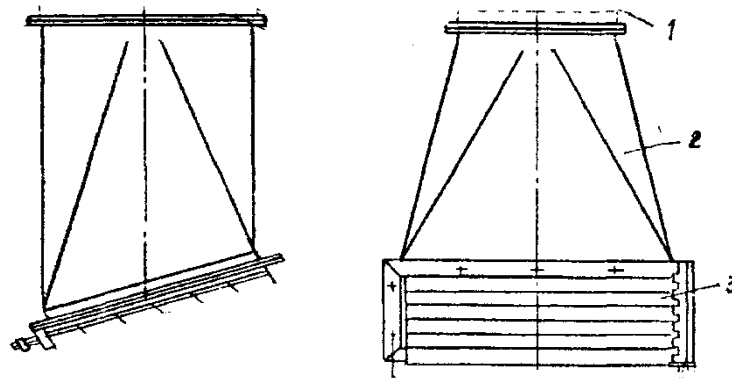


Рис.5. Душевой патрубок с верхним подводом воздуха типа ПДВ: 1 - воздуховод; 2 - корпус; 3 - направляющая решетка

Системы, подающие воздух для воздушных душ, нельзя совмещать с системами приточной вентиляции.

Для обеспечения на рабочем месте заданных температур и скоростей воздуха ось воздушного потока направляют на грудь человека горизонтально или сверху под углом 45°, а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в лицо (зону дыхания) горизонтально или сверху под углом 45°.

При душировании по способу ниспадающего потока воздух подается на рабочее место сверху с минимально возможного расстояния струей большого сечения и с малой скоростью, при этом требуется меньший расход воздуха и меньшая степень его охлаждения по сравнению с обычным воздушным душем.

Кроме стационарных, промышленность выпускает передвижные аэраторы типа ПАМ-24 и др., которые применяют для обслуживания площадок, на которых работают несколько человек.

Воздухораспределители различных типов используются для распределения приточного воздуха для вентиляции, нагрева и охлаждения помещений, как правило, неизоотермическими турбулентными струями (компактными: веерными или закрученными).

В практике используются цилиндрические и конические, пристенные, панельные, жалюзийные и щелевые, приколонные, потолочные и другие типы воздухораспределителей в зависимости от их назначения и условий применения.

На рис.8 показан трехсторонний пристенный воздухораспределитель типа ВП, предназначенный для подачи воздуха непосредственно в рабочую зону.

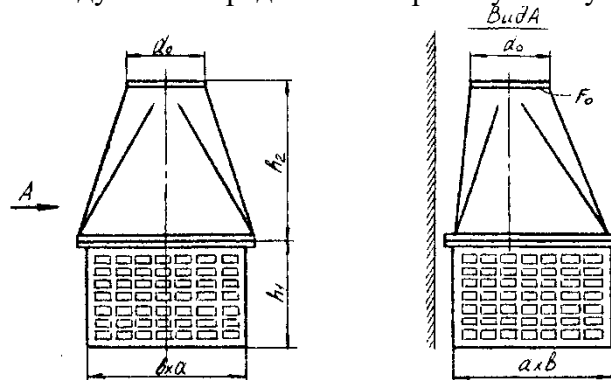


Рис.6. Пристенный воздухораспределитель типа ВП

Трехсторонние пристенные воздухораспределители типов ВП и НВ устанавливаются на уровне 0,7-2,5 м от пола. При выходе струя отклоняется от горизонтали на $8-10^\circ$ в направлении движения воздуха в воздуховоде. Расчет пристенных воздухораспределителей приведен в [5] и другой специальной литературе.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретический материал.
2. Определить основные технические параметры вентиляционной установки: производительность вентилятора, L_v , полный напор вентилятора, P_v при заданной частоте вращения колеса вентилятора n и расходуемую электродвигателем вентилятора мощность, N .
3. Построить характеристику вентиляционной сети.

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.

1. Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.
2. К работам по эксплуатации электроустановок до 1000 В (установочных, осветительных, технических средств обучения и электрических машин) допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по охране труда. Не электротехническому персоналу, эксплуатирующему электроустановки до 1000 В, прошедшему инструктаж и проверку знаний по электробезопасности, присваивается I квалификационная группа допуска с оформлением в журнале установленной формы с обязательной росписью проверяющего и проверяемого.
3. Все лица, связанные с работой в лаборатории, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Вопросы для собеседования:

1. Типы вентиляции.
2. Основы расчета воздухообмена.
3. Очистка вентиляционного воздуха.
4. Ионизация воздуха.
5. Требования предъявляемые при техническом испытании вентиляционной установки.
4. Санитарно-гигиенические нормы предъявляемые при техническом испытании вентиляционных систем.
5. Аппаратура для технического контроля за работой вентиляционных систем

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень основной литературы

1. Штокман, Е. А. Основы отопления и вентиляции [Текст] : учебно-практич. пособие / Е. А. Штокман, Т. А. Скорик. - Ростов н/Д : Феникс, 2011. - 345 с. : ил.
2. Сибикин, Ю. Д. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] : учеб. пособие для сред. проф. образования / Ю. Д. Сибикин. - 6-е изд., стер. - М. : ИЦ "Академия", 2009. - 304 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : [учеб. пособие] / Б.М. Хрусталева, Ю.Я. Кувшинов, В.М. Копко и др. ; под ред. Б.М. Хрусталева. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во АСВ, 2010. - 784 с. : ил.
2. Рульнов, А. А. Автоматическое регулирование [Текст] : учебник для средн. строит.учеб. заведений / А. А. Рульнов, И. И. Горюнов, К. Ю. Евстафьев. - М. : ИНФРА-М, 2009. - 219 с.
3. Кокорин, О. Я. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений [Текст] : учебник / О. Я. Кокорин, Ю. М. Варфоломеев. - М. : ИНФРА-М, 2010. - 273 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины :

1. www.tehlit.ru- Электронная библиотека технической литературы
2. dic.academic.ru – Online словари и энциклопедии
3. www.techdocument.info – Техдокумент - Документы для инженера, строителя, проектировщика, студента...